

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

I, LOUISE MAY KEILLER, M.A., M.I.L., declare

1. That I am a citizen of the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, residing at 47 Guildford Park Avenue, Guildford, Surrey, GU2 7NL.
2. That I am well acquainted with the German and English languages.
3. That the attached is a true translation into the English language of the Specification of International Patent Application No. PCT/EP01/08413.
4. That all statements made herein of my own knowledge are true and that all statements made on information and belief are believed to be true; and further that these statements are made with the knowledge that wilful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment, or both, under Section 1001 of Title 18 of the United States Code and that such wilful false statements may jeopardise the validity of the patent application in the United States of America or any patent issuing thereon.

DECLARED THIS 8th DAY OF MARCH 2002

Louise M. Keiller

LOUISE M. KEILLER

18. Juli 2001

Unser Zeichen: 12251-GSI
Neue internationale Patentanmeldung
Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH

**Vorrichtung und Verfahren zur Ionenstrahlbeschleunigung und zur
Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Ionenstrahlbeschleunigung und zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung gemäß den unabhängigen Ansprüchen.

Für eine Ionenstrahlbeschleunigung von Schwerionen wie Kohlenstoffionen, Sauerstoffionen und dergleichen in Linearbeschleunigern und Cyclotronbeschleunigern werden Leistungen im Bereich von mehreren Megawatt bei Frequenzen um 300 MHz benötigt. Für derart hohe Leistungen und bei derartigen Frequenzen versagen die konventionellen Hochfrequenzleistungsverstärker wie Topfkreisverstärker, die im allgemeinen in einem Frequenzbereich von 50 bis 200 MHz und in einem Leistungsspektrum bis zu 50 kW einsetzbar sind. Für höhere Frequenzen und höhere Leistungen bietet sich das Prinzip der Klystron-Leistungsverstärkung an, das sich im Frequenzbereich von 350 MHz bis 20 GHz durchgesetzt hat. Dabei handelt es sich wie bei Wanderfeltröhren um eine lineare Anordnung, wobei ein aus einer Elektronenkanone austretender Strahl mittels longitudinaler Geschwindigkeitsmodulation in Elektronenpakete gegliedert wird. Diese Mikrostruktur des Strahls wird in sogenannten Buncher-Kavitäten

mittels gerichteter longitudinaler hochfrequenter elektrischer Felder erzeugt. Der derart strukturierte Elektronenstrahl erzeugt dann in der Ausgangskavität oder dem Ausgangskreis die gewünschte Hochfrequenzleistung. Nach Abzug dieser Hochfrequenzleistung wird seine Restenergie schließlich in einem Kollektor deponiert oder abgeleitet. Leistungsklystrons mit Betriebsfrequenzen von 200 MHz haben bereits eine Baulänge von 5 m. Für Betriebsfrequenzen darunter werden die Baulängen unhandlich und die Geräte unförmig und beanspruchen einen Raumbedarf, der mit erheblichen Kosten verbunden ist. Eine wesentliche Ursache für diesen enormen Raumbedarf liegt in der Formierung der Elektronenstrahlimpulse bzw. der Elektronenpakete in der Röhre, wozu langgestreckte, mehrere hundert Zentimeter lange Driftstrecken benötigt werden. Für wesentlich tiefere Frequenzen, wie unter 200 MHz, wird deshalb auf die Topfkreisverstärker in Form von Leistungsröhren zurückgegriffen, jedoch für den Frequenzbereich zwischen 200 und 350 MHz gibt es bisher keine wirtschaftliche Lösungen, die einen hohen Leistungspegel von mehreren Megawatt und eine entsprechende Betriebsfrequenz zulassen.

In den letzten Jahren hat sich ein Konzept durchgesetzt, das sich Klystrodenprinzip nennt. Bei diesem Prinzip handelt es sich um eine Kombination von Elementen des röhrengetriebenen Verstärkers und des Klystrons. Die Elektronenimpulse werden dabei mittels eines Steuergitters erzeugt und der gepulste Elektronenstrahl durchläuft dann nacheinander eine Ausgangskavität und einen Kollektor. Zwar kann diese Anordnung sehr kompakt gebaut werden, aber, soweit sich dieses Konzept durchgesetzt hat, wird es für Fernsehsender eingesetzt mit einer relativ geringen Sendeleistung von maximal 60 kW im UHF-Band, so daß diese Lösung in Konkurrenz zu den standardmäßigen Topfkreisverstärkern einsetzbar ist, jedoch nicht die hohen Leistungen bringt, die für eine Ionenstrahlbeschleunigung erforderlich sind.

Leistungsklystrons, die durchaus in der Lage wären, mehrere Megawattverstärkung zu liefern, verlieren jedoch bei Frequenzen von 100 MHz bis 400 MHz wegen des technischen Aufwands und besonders wegen ihrer Baugröße bei diesen tiefen Frequenzen ihre sonst vorhandenen Vorteile. Andererseits sind Klystroden, wie sie oben erwähnt werden, aufgrund der Verwendung eines Steuergitters bezüglich der maximal erzielbaren Hochfrequenzleistung sowie bezüglich der erzielbaren Wartungsintervalle äußerst begrenzt einsetzbar. Leistungsröhren wie die Topfkreisverstärker bleiben im betrachteten Frequenzbereich deutlich unter 1 MW Ausgangsleistung im Dauerbetrieb, und bei gepulstem Betrieb fällt die Maximalleistung von etwa 3 MW im unteren Frequenzbereich auf unter 1 MW im oberen Frequenzbereich ab, so daß auch diese für mehrere Megawatt nicht verwendet werden können. Der Gesamtwirkungsgrad fällt bei diesen Leistungsröhren auch dadurch ab, daß die Kathodenheizleistung von typisch 10 kW bei den erforderlichen Pulswiederholraten zur Verstärkung von Ionenstrahlimpulsen von mehreren Hertz bis zu 50 Hz kontinuierlich aufzubringen ist.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, einen leistungsstarken Hochfrequenzverstärker im Frequenzbereich von 100 MHz bis etwa 400 MHz anzugeben, der im gepulsten Betrieb mit einer 1 ms Pulslänge und einer Wiederholrate von kleiner gleich 50 Hz Senderleistungen bis zu 10 MW erreicht. Darüber hinaus ist es Aufgabe der Erfindung, eine technische Lösung anzugeben, welche die aktuelle kritische Situation bei der Produktion von Hochfrequenzleistungsrohren überwindet, die darin liegt, daß immer weniger Anbieter derartige Leistungsröhren produzieren, so daß neben den oben genannten Einschränkungen dieses Verstärkertyps auch die Versorgungslage langfristig nicht gesichert erscheint.

Gelöst wird diese Aufgabe mit den unabhängigen Ansprüchen, vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Erfindungsgemäß wird eine Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung angegeben, die eine Elektronenkanone, einen Hochfrequenzdeflektor, einen Gleichspannungsdeflektor, einen Kollektor mit Gegenfeld, einen Nachbeschleuniger, einen Leistungskoppler zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls an einen Verbraucher und einen Hauptkollektor zur Aufnahme der Restleistung des Elektronenstrahls aufweist. Dazu sind die oben aufgelisteten Vorrichtungen nacheinander in Richtung des Elektronenstrahls angeordnet.

Die Elektronenstrahlkanone erzeugt zunächst einen kontinuierlichen Elektronenstrahl, der in dem Hochfrequenzdeflektor, angeregt durch ein hochfrequentes Anregungssignal abgelenkt wird, so daß nur im Bereich der Nulldurchgänge dieses Signals der Elektronenstrahl periodisch in der Ionenstrahlachse weitergegeben werden kann. Durch den sich anschließenden Gleichspannungsdeflektor wird dieser Effekt verstärkt und der Anteil des abgelenkten Elektronenstrahls wird in einem Kollektor mit Gegenfeld gesammelt und dieser Strom zu der Kathode der Elektronenkanone zurückgekoppelt. Der in dieser Weise in Elektronenpakete aufgliederte Elektronenstrahl wird in einem Nachbeschleuniger beschleunigt und einem Leistungskoppler zugeführt, der die Leistung des Elektronenstrahls an einen Verbrauchers ankoppeln kann. Die verbleibende nicht ausgekoppelte Restleistung des Elektronenstrahl wird einem Hauptkollektor zugeführt. Somit werden in vorteilhafter Weise statt der beim Klystron verwendeten longitudinalen Geschwindigkeitsmodulation bei der vorliegenden Erfindung transversale hochfrequente elektrische Felder im Hochfrequenzdeflektor und transversalgerichtete statische

elektrische Felder im Gleichspannungsdeflektor verwendet, um Elektronenimpulse zu formen und vorzuverstärken.

Innerhalb einer Hochfrequenzperiode werden somit etwa 80 % des kontinuierlich angelieferten Elektronenstrahls abgelenkt und in einem negativ vorgespannten Kollektor mit Gegenspannung aufgefangen. Die auf der Strahlachse weiterlaufenden verbleibenden Elektronenstrahlimpulse in Form von Elektronenpaketen durchlaufen dann die Hauptbeschleunigung mit mehreren hundert Kilovolt und erreichen derart beschleunigt die Ausgangskavität des Leistungskopplers, der die Leistung des Elektronenstrahls an einen Verbraucher ankoppelt. Die nicht ausgekoppelte Restleistung wird im Hauptkollektor gesammelt. Die reine Elektronenstrahlimpulsformierung kann bei diesem Konzept in einem Frequenzbereich zwischen 100 und 400 MHz innerhalb einer Baulänge von nur 0,5 m untergebracht werden. Dieses ist eine Verbesserung durch Verringerung der Baulänge um mehr als das Zehnfache, zumal ein Klystron für 350 MHz bei der geforderten Leistungsaufnahme bereits 5 m lang ist. Somit entfällt ein wesentlicher Hinderungsgrund, für tiefe Frequenzen das Klystron anzuwenden. Bei der erfindungsgemäßen Lösung wird der Wirkungsgrad des Klystrons für die Erzeugung von Hochfrequenzleistungen auf wesentlich kürzerer Baulänge erreicht.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Verbraucher eine Antenne eines Koaxialkabelendes, die in einen Resonator, der über einen den Elektronenstrahl umgebenden Ringspalt mit dem Elektronenstrahl gekoppelt ist, hineinragt. Diese Ausführungsform entzieht mit seiner Antenne einen wesentlichen Anteil der Resonanzenergie aus dem Resonator, und damit werden die Elektronen im Elektronenstrahl gebremst, so daß nur noch eine geringe verbleibende nicht ausgekoppelte Restleistung im Hauptkollektor gesammelt werden muß.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Verbraucher ein Antennenkoppler eines Hohlleiters, der als koaxiale Durchführung durch die Wandung des Resonatorraumes ausgeführt ist. Dazu ragt der Antennenkoppler in den Resonatorraum hinein, der den Elektronenstrahl mit einem Ringspalt umgibt, so daß Energie aus dem Elektronenstrahl in den Resonator gekoppelt werden kann und über die Antennenkopplerdurchführung dann weiter an den Hohlleiter abgeleitet wird.

In einer weiteren bevorzugten Durchführung der Erfindung ist der Verbraucher ein Kopplungsfenster zu einem Hohlleiter, wobei das Kopplungsfenster sich zu dem Resonator hin öffnet. Auch in dieser Ausführungsform ist der Elektronenstrahl von dem Resonator mit einem Ringspalt umgeben.

Eine weitere erfindungsgemäße Lösung besteht in einer Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung, die einen Ionenbeschleunigertank mit zentraler Behälterachse zur Führung und Beschleunigung eines gepulsten Ionenstrahl aus Schwerionen in der Behälterachse umfaßt. Diese Vorrichtung weist darüber hinaus eine Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung mit Elektronenstrahlachse zur Mikrostrukturierung und Verstärker von Stromimpulsen für die Versorgung der Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung mit Hochfrequenzleistung auf.

Diese Lösung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung mit ihrer Elektronenstrahlachse quer und versetzt zur Behälterachse angeordnet ist und außerhalb des Ionenbeschleunigertanks eine Elektronenkanone, einen Hochfrequenzdeflektor, einen Gleichspannungsdeflektor, einen Kollektor mit Gegenfeld und einen Nachbeschleuniger aufweist, während innerhalb des Ionenbeschleunigertanks die Vorrichtung einen Leistungskoppler zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls an einen Verbraucher und einen

Hauptkollektor zur Aufnahme der Restleistung des Elektronenstrahls besitzt. Die aufgeführten Vorrichtungskomponenten der Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung sind hintereinander in Richtung des Elektronenstrahls angeordnet.

Diese Lösung hat den Vorteil, daß der Ionenbeschleunigertank selbst gleichzeitig als Ausgangskreis für die Leistungsverstärkungsstufe verwendet wird. Ein Leistungstransport vom Verstärker zum Tank entfällt. Eine Ankopplung der Leistungsstufe an das Tankvolumen ist damit möglich. Damit wird ein Aufbau zur Ionenstrahlbeschleunigung für Ionenstrahlen für Schwerionen erreicht, der äußerst überschaubar und äußerst kostengünstig hergestellt werden kann.

Zur Kopplung zwischen treibendem Elektronenstrahl und Ionenbeschleunigertank wird eine im Potential passende Stelle entlang der Driftröhrenhalterung des Ionenstrahls eingesetzt. Ein transversales elektrisches Wechselfeld mit geeigneter Zeitstruktur lenkt dabei unmittelbar nach der Vorbeschleunigung des Elektronenstrahls zeitlich ungünstig liegende Elektronen ab, so daß nur Elektronenimpulse mit der gewünschten Frequenz zur Verstärkung der Ionenstrahlimpulse die Hauptbeschleunigung durchlaufen und anschließend im Feld des Ionenbeschleunigertanks abgebremst werden, weil ihre Energie an den Ionenstrahl angekoppelt ist.

Somit ist in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung der Verbraucher unmittelbar der gepulste Ionenstrahl.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist der Leistungskoppler einen Resonator mit einem den Elektronenstrahl radial umgebenden oberen Ringspalt und einem den Elektronenstrahl radial umgebenden unteren Ringspalt im Io-

nenbeschleunigertank auf. Ein Durchlaufen des Elektronenstrahls von zwei Ringspalten, nämlich einem oberen und einem unteren Ringspalt im Tank erscheint vorteilhaft, da der Elektronenstrahl den gekühlten Aufhänger erreichen muß, um seine Restenergie in dem Hauptkollektor abzugeben. Dazu wird vorteilhaft die Driftstrecke zwischen den Spalten möglichst kurz gehalten, um eine günstige Geometrie zu erreichen, welche die Spannungsverteilung über dem Driftröhrenfuß nicht wesentlich beeinträchtigt. Außerdem geben in vorteilhafter Weise die Elektronen unabhängig von ihrer Phasenlage im Impuls beim Durchlaufen der beiden Ringspalte die gleiche Energie an den Ionenstrahl ab, so daß die Restenergie in dem Hauptkollektor oder Auffänger kleiner als 10 % der Impulsenergie ist.

Um derart angepaßte Ringspalte in dem Ionenbeschleunigertank anzuordnen, weist der Leistungskoppler darüber hinaus zwischen den Ringspalten eine Kopplungsstufe auf, die coaxial den Elektronenstrahl umgibt und radial versetzt und transversal zum Ionenstrahl innerhalb des Ionenbeschleunigertanks angeordnet ist, wobei die Kopplungsstufe an einer Driftröhrenhalterung des Ionenstrahls befestigt ist.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Elektronenstrahlkanone eine Piercetypp-Elektronenstrahlkanone. Mit einer derartigen Kanone wird in vorteilhafter Weise ein hochperveanter Elektronenstrahl mit entsprechend hoher Raumladungskonstanten gemäß der Child-Langmuir-Gleichung bei Impulslängen von 1 ms erzeugt, der einen Strahlstrom von beispielsweise 40 A bei einer Beschleunigungsspannung von 40 kV erreicht.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist der Hochfrequenzdeflektor ein homogenes transversal gerichtetes Wechselfeld auf, mit dem kurze Elektronenstrahlpakete im Bereich

der Betriebsfrequenz von 100 bis 400 MHz geschaffen werden, während der Elektronenstrahl in den Impulspausen abgelenkt wird und einem Kollektor mit Gegenfeld zugeführt wird, der seinerseits den Strom der Kathode der Elektronenstrahlkanone zur Verfügung stellt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist der Gleichspannungsdeflektor ein inhomogenes, zeitlich konstantes transversales elektrisches Feld auf, während der Elektronenstrahl mittels eines longitudinalen Magnetfeldes gleichzeitig transversal stabilisiert wird, so daß die Brillouin-Gleichgewichtsbedingung erfüllt bleibt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist der Leistungskoppler in seinem Ausgangskreis einen Resonator auf, der über einen Ringspalt mit dem Elektronenstrahl kommuniziert. Dem Resonator kann wiederum die Energie durch einen Verbraucher, der über eine Koaxialleitung, einen Hohlleiter oder unmittelbar angekoppelt ist, wie im Falle des Ionenstrahls, entzogen werden, so daß die Elektronenpakete im Elektronenstrahl abgebremst werden und nur noch mit geringer Energie, die teilweise unter 10 % der Gesamtelektronenstrahlenergie liegt, in dem Hauptkollektor gesammelt werden müssen.

Neben der für die unmittelbare Ankopplung an einen Ionenstrahlverbraucher gefundenen Lösung weist der Ausgangskreis auch eine einspaltige ringförmige Kavität als Resonator auf, wobei die Kavität den Ionenstrahl umgibt. Mit dieser Lösung ist es möglich, beliebige Verbraucher über Koaxialkabel oder Hohlleiter an die erfindungsgemäße leistungsverstärkende Vorrichtung anzuschließen.

Die Pulslänge und die Wiederholungsrate des Elektronenstrahls, die sogenannte Makrostruktur, sind bei der erfindungsgemäßen

Lösung frei wählbar, so daß Impulslängen von einer Millisekunde bei Wiederholffrequenzen von unter 50 Hz und einer Leistung von 10 MW mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung und dem erfindungsgemäßen Verfahren verwirklicht werden können.

Da ein schmalbandiger HF-Resonator, wie er in den bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung als ringförmige Kavität mit Ringspalt angegeben ist, erst dann mit einem Elektronenstrahl wirkungsvoll angeregt werden kann, wenn der Strahl eine Intensitätsmodulation bei der entsprechenden Betriebsfrequenz aufweist, wird diese sogenannte Mikrostruktur des Elektronenstrahls mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens erzeugt. Dieses erfindungsgemäße Verfahren zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung weist folgende Verfahrensschritte auf:

Erzeugen eines Elektronenstrahls mittels einer Elektronenstrahlkanone;

Beaufschlagen des Elektronenstrahls mit einem hochfrequenten Wechselfeld unter gleichzeitig hochfrequenter Auslenkung des Elektronenstrahls;

Hochfrequentes Ausblenden von bis zu 80 % der Elektronenstrahlenergie zu einem Kollektor mit Gegenfeld;

Nachbeschleunigen des hochfrequenzmodulierten Elektronenstrahls zu verstärkten Elektronenstrahlimpulsen;

Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Leistungskoppler.

Somit durchläuft der Strahl zunächst ein homogenes transversal gerichtetes elektrisches Wechselfeld, danach ein inhomogenes zeitlich konstantes transversales elektrisches Feld. Dabei werden etwa 80 % des Elektronenstrahls von der Strahlachse abge-

lenkt und bei nahezu konstanter Elektronenenergie von 40 keV in einem vorgespannten Kollektor mit z.B. $U = -40 \text{ kV} + x$ aufgefangen. Die Energie dieser Elektronen kann weitestgehend wieder an die Kathode der Elektronenkanone zurückgeführt werden und dient als Ladestrom.

Der nichtabgelenkte Strahlanteil, der in Teilchen oder Elektronenpaketen im zeitlichen Abstand gemäß der Betriebsfrequenz vorliegt, bewegt sich entlang der Strahlachse weiter und durchläuft die Hauptbeschleunigungsspannung, die beispielsweise bei 300 kV liegen kann, und tritt dann in den Ausgangskreis des Resonators ein. Ein derartiger Resonator kann eine einspaltige ringförmige Kavität aufweisen, wie sie auch bei anderen Lösungen üblich ist. Ein derartiger Resonator wird durch die durchlaufenden Elektronenpakete angeregt, und die im Resonator entstehenden Hochfrequenzfelder bremsen die Elektronen und speisen gleichzeitig die Ausgangsleitung des Verstärkers, die vorzugsweise eine Koaxialleitung oder ein Hohlleiter mit entsprechenden Ankopplungsantennen oder einem entsprechenden Kopplungsfenster sein können. Schließlich wird die restliche Elektronenenergie im Hauptkollektor abgegeben, wobei insbesondere die erfindungsgemäße Formierung der Elektronenstrahlmikrostruktur für eine Verkürzung der Baulänge von sonst für höhere Betriebsfrequenzen üblichen Klystronleistungsverstärkern sorgt.

Somit wird bei einem bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens die Hochfrequenzenergie über ein Koaxialkabel ausgekoppelt, das mit einer Antenne in einen Ringresonatorraum ragt, welcher über einen den Elektronenstrahl umgebenden Ringspalt mit dem hochfrequenten, energiereichen Elektronenstrahl kommuniziert.

In einem weiteren bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens wird das Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen

Hohlleiter erreicht, der mit einer Koppelantenne in einen Ringresonatorraum hineinragt, welcher über einen den Elektronenstrahl umgebenden Ringspalt mit dem hochfrequenten, energiereichen Elektronenstrahl kommuniziert.

Bei einem weiteren bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens wird das Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Hohlleiter erfolgen, der über ein Koppelfenster an einen Ringresonatorraum angeschlossen ist, wobei der Ringresonator über einen den Elektronenstrahl umgebenden Ringspalt mit dem Elektronenstrahl kommuniziert.

Ein weiteres bevorzugtes Durchführungsbeispiel des Verfahrens sieht vor, daß ein Elektronenstrahl mit hoher Raumladungskonstanten gemäß der Child-Langmuir-Gleichung von einer Elektronenstrahlkanone mit einem Strahlstrom von 20 A bis 60 A, vorzugsweise zwischen 30 bis 50 A, bei einer Beschleunigungsspannung (U_c) von 20 kV bis 60 kV, vorzugsweise von 30 kV bis 50 kV erzeugt wird.

Ein weiteres bevorzugtes Durchführungsbeispiel des Verfahrens sieht vor, daß der Elektronenstrahl mittels eines longitudinalen Magnetfeldes transversal im Brillouin-Gleichgewicht stabilisiert wird. Weiterhin ist vorgesehen, daß der intensitätsmodulierte Elektronenstrahl einen schmalbandigen Hochfrequenzresonator im Ausgangskreis bei einer Betriebsfrequenz anregt. Dazu durchläuft der Elektronenstrahl ein homogenes transversalgerichtetes elektrisches Wechselfeld, wobei zwischen 50 und 80 % der Elektronenstrahlenergie von der Strahlachse abgelenkt werden.

In einem weiteren bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens wird bei näherungsweise konstanter Elektronenenergie von 30 keV bis 60 keV in einem vorgespannten Kollektor mit Gegen-

feld von -30 kV bis -40 kV der abgelenkte Anteil des Elektronenstrahls aufzufangen. Dabei wird die Energie der aufgefundenen Elektronen in dem Kollektor mit Gegenfeld gesammelt und als Ladestrom der Kathode der Elektronenkanone zugeführt.

In einem weiteren bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens werden die nicht abgelenkten Elektronenpakete in zeitlichem Abstand einer Betriebsfrequenz entlang der Strahlachse bewegt und geführt und treten mit einer Hauptbeschleunigungsspannung zwischen 200 kV und 400 kV in einen Ausgangskreis der Vorrichtung, der als Resonator ausgebildet ist, ein. Dabei springt der Resonator im Ausgangskreis der Vorrichtung an, wobei hochfrequente Felder im Resonator die Energie der Elektronen aufnehmen, diese abbremesen und eine Ausgangsleitung, vorzugsweise ein Koaxialkabel und/oder einen Hohlleiter speisen.

Die verbleibende Restenergie der Elektronen wird vorzugsweise in einem Hauptkollektor abgegeben. Für eine elektrische Strahlablenkung in dem Hochfrequenzdeflektor wird in einem bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens für einem Betriebsfrequenz f das ansteuernde Hochfrequenzsignal aus einem Hauptbestandteil bei einer Frequenz von $f/2$ und einer Überlagerung mit der Frequenz $5f/2$ in einem Amplitudenverhältnis von 5:1 eingestellt. Dabei liegt die Betriebsfrequenz zwischen 100 und 400 MHz und pro Periode werden etwa 20 % der Elektronenstrahlteilchen impulsweise weitergegeben, da durch die Überlagerung der beiden Frequenzen ein entsprechender Nulldurchgang für eine entsprechende Zeitspanne pro Periode erreicht wird.

Die Erfindung wird nun anhand von Figuren näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze einer ersten Ausführungsform einer Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung.

Fig. 2 zeigt ein Diagramm einer Periode eines Hochfrequenzspannungssignals, das an einem Hochfrequenzdeflektor angelegt wird.

Fig. 3 zeigt die Ablenkwirkung auf Elektronen in einem Hochfrequenzdeflektor.

Figuren 4a und 4b zeigen Prinzipskizzen möglicher elektrischer Felder in einem Gleichspannungsdeflektor.

Fig. 5 zeigt einen Querschnitt durch einen asymmetrischen Gleichspannungsdeflektor mit eingezeichneten Äquipotentiallinien.

Fig. 6 zeigt mehrere Intensitätsprofile entlang der Elektronenstrahlachse für unterschiedliche Blendenöffnungen des Kollektors mit Gegenfeld.

Fig. 7 zeigt eine Skizze der Elektronendichteverteilung nach Durchlaufen des Hochfrequenzdetektors.

Fig. 8 zeigt eine Skizze der Elektronendichteverteilung nach Durchlaufen des Hochfrequenzdeflektors und des Gleichspannungsdeflektors.

Fig. 9 zeigt eine Prinzipskizze einer Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung.

Fig. 10 zeigt eine Prinzipskizze einer Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung.

Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze einer ersten Ausführungsform einer Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung. Diese besteht im wesentlichen aus einem vakuum-

dichten Gehäuse 28, in dem hintereinandergeschaltet eine Elektronenkanone 6, ein Hochfrequenzdeflektor 7, ein Gleichspannungsdeflektor 8, ein Kollektor mit Gegenfeld 9 und ein nicht-gezeigter Nachbeschleuniger, der mit der Bezugsziffer 10 in Fig. 9 gezeigt wird, untergebracht sind. Die in Fig. 1 gezeigte Prinzipskizze dient im wesentlichen der Erläuterung des Funktionsprinzips der transversalen Ablenkeinheit zur Mikrostrukturformierung des Elektronenstrahls. Die entsprechenden Vielteilchenberechnungen zur Formierung von Elektronenpaketen in dieser Vorrichtung wurden mit Hilfe von geeigneten Softwareprogramm Paketen durchgeführt.

Der in Fig. 1 gezeigte Abschnitt von der Elektronenkanone 6 bis zum Kollektor mit Gegenfeld 9, welcher die abgelenkten Elektronen, die im gezeigten Strahlquerschnitt in der x/z -Ebene schraffiert gezeigt werden, auffängt, enthält die wesentlichen Teile der erfindungsgemäßen Elektronenstrahlformierungsvorrichtung. Es sind die beiden unmittelbar hintereinander angeordneten Ablenksysteme 7 und 8 deutlich zu erkennen, wobei die zweite elektrostatische Ablenkeinheit 8 durch das Kathodenpotential U_c versorgt werden kann. Die elektrische Feldrichtung E_y , die senkrecht zu der Darstellungsebene angeordnet ist, muß für $x > 0$ umgekehrt orientiert sein als für $x < 0$, um die Elektronenumlenkung der vorgeschalteten hochfrequenten Ablenkeinheit weiter zu verstärken. Die Umgebung der z -Achse, wie sie in der Darstellung verdeutlicht wird, wird im Gleichspannungsdeflektor 8 durch Überlappung der auf Masse liegenden Elektroden nahezu feldfrei gehalten, um die durchlaufenden Elektronenpakete möglichst wenig zu stören.

Fig. 2 zeigt ein Diagramm einer Periode eines Hochfrequenzspannungssignals, das an den Hochfrequenzdeflektor 7 angelegt wird. Dazu ist auf der Abzisse die Zeit in Nanosekundeneinheiten eingetragen und auf der Ordinate die Hochfrequenzablenkspannung in

kV. Innerhalb einer Hochfrequenzperiode bei einer Betriebsfrequenz f ergibt sich durch entsprechende Anregungsfrequenzen des Hochfrequenzdeflektors 7 ein wiederkehrendes Plateau 51 bei der Spannung 0 V. Diese wiederkehrende Plateau 51 bei der Spannung 0 V definiert den durchlaufenden Strahlanteil, der nicht abgelenkt wird. Ferner zeigt das Diagramm der Fig. 2 die steil ansteigenden Spannungsflanken 53 und 54 am Beginn und am Ende des Plateaus 51, wodurch eine starke Ablenkung des Elektronenstrahls ausgelöst wird, was wiederum die Impulspausen definiert. Das Plateau selbst entspricht etwa einem Strahlanteil von 20 % bzw. einer Phasenbreite von 70° in Einheiten der Betriebsfrequenz. Demnach besteht das ansteuernde HF-Signal aus einem Hauptbestandteil bei der Frequenz $f/2$ und einer Überlagerung mit der Frequenz $5f/2$. Bei einem Amplitudenverhältnis von etwa 5:1 und der entsprechenden Phasenbeziehung entsteht diese in Fig. 2 gezeigte und gewünschte Signalform, die sich aus den Komponenten $V = \sin(\pi f t) - 0,2 V \cdot \sin(5\pi f t)$ zusammensetzt.

Fig. 3 zeigt die Ablenkwirkung auf die Elektronen in einem Hochfrequenzdeflektor 7. Dabei beschreiben die Elektronen in der x/y-Ebene unter dem Einfluß des elektrischen und magnetischen Feldes die dort gezeigten Bahnen. Der Vorteil gekreuzter elektrischer und magnetischer Felder ist dabei, daß die Auslenkung mittels der ExB-Drift im wesentlichen in der x/y-Ebene erfolgt, so daß die Deflektorplatten des Hochfrequenzdeflektors 7 keine Begrenzung darstellen, solange der Gyroradius r_g geeignet gewählt ist.

Die Figuren 4a und 4b zeigen Prinzipskizzen möglicher elektrischer Felder in einem Gleichspannungsdeflektor 8. In dem hier diskutierten Ausführungsbeispiel wird der asymmetrische Gleichspannungsdeflektor der Fig. 4b in einer leicht modifizierten Form, wie sie die Fig. 5 zeigt, angewandt. Der unsymmetrische Gleichspannungsdeflektor 8 hat gegenüber dem symmetrischen

Gleichspannungsdeflektor der Fig. 4a den Vorteil einer einfacheren Gestaltung durch lediglich vier Ablenkplatten 36 bis 38 gegenüber sechs Ablenkplatten 30 bis 35 der Fig. 4a.

Fig. 5 zeigt einen Querschnitt durch einen asymmetrischen Gleichspannungsdeflektor 8 mit eingezeichneten Äquipotentiallinien 29. Deutlich ist an dieser Darstellung zu erkennen, daß das Zentrum zwischen den Ablenkplatten 40 bis 43 feldfrei gehalten ist, so daß Elektronen, die diese Abdeckplatten im Zentrum durchfliegen, nicht oder nur geringfügig zusätzlich abgelenkt werden. Ferner besteht die Modifikation der Ausführungsform nach Fig. 5 gegenüber der Prinzipskizze nach Fig 4b darin, daß die an Masse (0 V)liegenden Ablenkplatten 41 und 42 gegenüber der Zentrumslinie 44 zunächst parallel und dann teilweise abgewinkelt sind und die mit einer negativen Spannung in dieser Ausführungsform von -40 kV beaufschlagten Ablenkplatten gegenüber der Zentrumslinie 44 vollständig abgewinkelt sind.

Fig. 6 zeigt mehrere Intensitätsprofile entlang der Elektronenstrahlachse in z-Richtung für unterschiedliche Blendenöffnungen eines Kollektors 9 mit Gegenfeld. Bei dieser Darstellung ist auf der Abszisse die z-Richtung in Zentimetern eingetragen, und auf der Ordinate ist in beliebigen Einheiten die Elektronenstrahldichte vergleichsweise aufgetragen. Die Kurven wurden für drei unterschiedliche Blendenöffnungen des Kollektors 9 mit Gegenfeld von ≤ 5 mm, ≤ 6 mm und ≤ 7 mm aufgenommen. Das Impulspaket oder Elektronenpaket, das durch diese Blende periodisch ausgegeben wird, hat eine Länge von nicht ganz 10 cm, wobei die Länge mit zunehmendem Durchmesser der Öffnung in dem Kollektor 9 mit Gegenfeld geringfügig zunimmt. Das Intensitätsmaximum hängt bei dieser Impulsbreite jedoch nicht von der Blendenöffnung ab, sondern das Intensitätsmaximum wird offensichtlich durch den Gleichspannungsdeflektor mit einer Beschleunigungs-

spannung U_c bestimmt und ist bei gleichbleibender Gleichspannung auch gleich intensiv.

Fig. 7 zeigt eine Skizze der Verteilung der Elektronendichte nach Durchlaufen des Hochfrequenzdeflektors. Bei dieser Darstellung ist auf der Abszisse die x-Position in mm und auf der Ordinate die Elektronendichte in beliebigen Einheiten aufgetragen. Nach dem Durchlaufen des Hochfrequenzdeflektors 7 liegen noch 37 % der Elektroden im zentralen Durchlaßbereich der Elektronenstrahlformierungsvorrichtung, während große Anteile des Elektronenstrahls nach unten oder nach oben durch das hochfrequente Wechselfeld abgelenkt werden und für eine weitere Beschleunigung nicht zur Verfügung stehen. Der Gleichstromelektronenstrahl, wie er aus der Elektronenkanone 6 kommt, wird demnach bereits in Elektronenpakete zerschnitten. Noch deutlicher zeigt dieses die Fig. 8.

Fig. 8 zeigt eine Skizze der Elektronendichteverteilung nach Durchlaufen des Hochfrequenzdeflektors 7 und des Gleichspannungsdeflektors 8. Auf der Abszisse ist wiederum die x-Position in mm eingetragen, und auf der Ordinate die Elektronendichte in beliebigen vergleichenden Einheiten. Nach dem Gleichspannungsdeflektor konzentrieren sich die Maxima der abgelenkten Elektroden im deutlichen Abstand von der Strahlmitte, die bei 0,0 mm liegt. Lediglich 20 % der Elektronen verbleiben in der Strahlmitte und können in dem nachfolgenden Hochbeschleuniger weiter beschleunigt werden. Diese 20 % ergeben sich aus Elektronenpaketen bzw. Elektronenimpulsen, wie sie in räumlicher Erstreckung in Fig. 6 dargestellt wurden. Der Querschnitt der weiter zu transportierenden Teilchenpakete ergibt sich in seiner Dichteverteilung zu etwa 13 mm in x-Richtung und zu etwa 11 mm in y-Richtung. Aus diesem Querschnitt schneidet die Blendenöffnung des Kollektors mit Gegenfeld einen entsprechenden Elektronenimpulsstrahl aus.

Fig. 9 zeigt eine Prinzipskizze einer Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung. In Fig. 9 definieren gleiche Bezugszeichen gleiche Vorrichtungskomponenten wie in Fig. 1. Eine Erörterung dieser Vorrichtungskomponenten wird deshalb weitestgehend weggelassen. In Fig. 9 ist zusätzlich zu den in Fig. 1 gezeigten Vorrichtungskomponenten ein Frequenzumsetzer f_1 zu sehen, der bei der halben Betriebsfrequenz f schwingt und über einen Phasenschieber 45 einem Verstärker 48 zugeführt wird, der das Signal des Frequenzumsetzers f_1 auf etwa 50 kW verstärkt. Diesem Signal wird ein Signal überlagert, das von einem zweiten Frequenzumsetzer f_2 geliefert wird, der eine Frequenz von $5f/2$ erzeugt und dieses Signal dem Signal des ersten Frequenzumsetzers am Koppelpunkt 50 überlagert. Dabei wird neben der richtigen Phase eine Amplitudenanpassung durch den Verstärker 49 eingestellt, so daß die Amplitude des Signals des Frequenzumsetzers f_2 lediglich $1/5$ der Amplitude des Frequenzumsetzers f_1 beträgt. Dieses Signal, das für eine Periode die Form des in Fig. 2 gezeigten Diagramms annimmt, wird an die Platten des Hochfrequenzdeflektors 7 angelegt. Dem Signal überlagert ist ein Magnetfeld, das durch die Spule 47 innerhalb des Gehäuses 28 erzeugt wird.

Zwischen den Platten wird ein Elektronenstrahl 14 in der Elektronenstrahlachse 5 von einer Elektronenstrahlkanone 6 erzeugt, die in dieser Ausführungsform eine Pierce-Typ-Elektronenstrahlkanone ist. Diese Elektronenkanone erzeugt einen hochperveanten Elektronenstrahl mit hoher Raumladungskonstanten gemäß der Child-Langmuir-Gleichung und wird mittels eines longitudinalen Magnetfeldes der Spule 47 transversal stabilisiert und im Brillouin-Gleichgewicht gehalten.

Nach der Stückelung des Elektronenstrahls in dem Hochfrequenzdeflektor 7 werden sowohl die abgelenkten Elektronenpakete

als auch die im Achszentrum verbleibenden Elektronenpakete durch den Gleichspannungsdeflektor 8 geführt. Dabei wird der zeitliche Abstand der Pakete durch die Betriebsfrequenz f , die zwischen 100 und 400 MHz liegt, bestimmt. Während die abgelenkten Elektronenstrahlpaketanteile von dem Kollektor 9 mit Gegenfeld aufgenommen und über eine Verbindungsleitung der Kathode der Elektronenstrahlkanone 6 zugeführt werden, erreichen die im Zentrum befindlichen etwa 20 % der Elektronen des Elektronenstrahls den Nachbeschleuniger 10, der mit einer Beschleunigungsspannung in dieser Ausführungsform von 300 kV die Elektronenstrahlimpulse oder Elektronenpakete energetisch verstärkt, so daß sie mit dem sich anschließenden ringförmigen Resonator 15 über den Ringspalt 25 in Wechselwirkung treten können.

Dabei entzieht der Resonator angeregt durch die Frequenz des Elektronenstrahls den Elektronenpaketen Energie, die in dieser Ausführungsform über eine Antenne 23 einer Koaxialausgangsleitung 12 zugeführt wird. Dieses Koaxialkabel kann an einen Verbraucher angeschlossen sein. In anderen Ausführungsformen der Erfindung ist der Verbraucher unmittelbar ein Ionenstrahl einer Beschleunigungskammer oder eines Ionenbeschleunigertanks, beispielsweise einer Ionenstrahltherapieanlage oder einer Ionenstrahlmaterialuntersuchungsanlage, die im wesentlichen mit Schwerionen wie Kohlenstoff- und Sauerstoffionen betrieben wird.

Die Ausgangsleitung 12 kann auch ein Hohlleiter sein, der über ein Kopplungsfenster mit dem Resonator 15 kommuniziert oder über eine koaxiale Durchführung mit dem Resonator 15 in Verbindung steht. Die dem Resonator 15 und damit dem Elektronenstrahl 14 durch die Ausgangsleitung nicht entzogene Energie wird von dem Hauptkollektor 13 aufgenommen. Dieser Hauptkollektor 13 weist vorzugsweise wassergekühlte Wandungen auf, um die Restenergie abzuführen, die in dieser Ausführungsform unter 10 %

liegt. Bei einer Maximalleistung von 10 MW ist dennoch eine hohe Kühlleistung erforderlich, um ein Schmelzen des Gehäuses des Hauptkollektors zu vermeiden.

Fig. 10 zeigt eine Prinzipskizze einer Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung. Das erfindungsgemäße Prinzip hat den Vorteil, daß es unmittelbar in eine Anlage zur Ionenstrahlbeschleunigung eingebracht werden kann. Entsprechend zeigt die Fig. 10 eine Vorrichtung 51 zur Ionenstrahlbeschleunigung, die einen Ionenbeschleunigertank 1 mit zentraler Behälterachse 2 zur Führung und Beschleunigung eines gepulsten Ionenstrahls 3 in der Behälterachse 2 aufweist. Dazu ist eine Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung 4 mit Elektronenstrahlachse 5 zur Mikrostrukturierung und Verstärkung von Stromimpulsen für die Versorgung der Vorrichtung 51 zur Ionenstrahlbeschleunigung mit Hochfrequenzleistung derart angeordnet, daß die Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung 4 mit ihrer Elektronenstrahlachse 5 quer und versetzt zur Behälterachse 2 angeordnet ist und außerhalb des Ionenbeschleunigertanks 1 eine Elektronenstrahlkanone 6, einen Hochfrequenzdeflektor 7, einen Gleichspannungsdeflektor 8, einen Kollektor 9 mit Gegenfeld und einen Nachbeschleuniger 10 aufweist und innerhalb des Ionenbeschleunigertanks 1 einen Leistungskoppler 11 zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls 14 an einen Verbraucher 12, der in diesem Fall der gepulste Ionenstrahl 3 ist, wobei ein Hauptkollektor 13 die Restleistung des Elektronenstrahls 14 aufnimmt und die genannten Vorrichtungskomponenten nacheinander in Richtung des Ionenstrahls 14 angeordnet sind.

Zur Auskopplung der Energie des Elektronenstrahls 14 aus der Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung 4 sind ein oberer Ringspalt 16 und ein unterer Ringspalt 17 mit dazwischen angeordneter den Ionenstrahl coaxial umgebenden

Kopplungsstufe angeordnet. Die Kopplungsstufe 18 wird durch die Driftröhrenhalterung 19 gehalten, die gleichzeitig im Bereich des Zentrums des Ionenbeschleunigertanks 1 den Ionenstrahl 3 umgibt. Die Spaltgröße und der Spaltabstand sowie der Versetzungsabstand zwischen Elektronenstrahlachse und Ionenstrahlachse sind derart auf einander abgestimmt, daß das Volumen des Ionenbeschleunigertanks 1 als Resonator für den gepulsten Elektronenstrahl dienen kann, wobei der Resonator unmittelbar auf den im Zentrum geführten gepulsten Ionenstrahl wirkt.

Die halbe Betriebsfrequenz f des Ionenstrahls 3 wird in dem Frequenzumsetzer f_1 über einen Phasenschieber 45 und einen Verstärker 48 einem Koppelpunkt 50 zugeführt, an dem gleichzeitig die $f/2$ Betriebsfrequenz f mit dem Frequenzumsetzer f_2 über den Verstärker 49 anliegt. Mit diesen überlagerten Frequenzen wird der Hochfrequenzdeflektor 7 betrieben, der den Ionenstrahl aus der Elektronenstrahlkanone 6 moduliert.

Anschließend wird in einem Gleichspannungsdeflektor 8 die Auslenkung und die Trennung zwischen ausgelenkten Ionenstrahlabschnitten und damit Impulspausen und im Zentrum weitergeführten Ionenstrahlabschnitten und damit Impulslängen verstärkt, so daß die abgelenkten Ionenstrahlabschnitte von dem Kollektor 9 mit dem Gegenfeld aufgenommen werden können. Die zentral auf der Ionenstrahlachse 5 fortgeführten Elektronenpakete werden in dem Nachbeschleuniger 10 auf eine entsprechend hohe Energie gebracht, so daß sie mit dem Raumvolumen des Ionenbeschleunigertanks 1 in Resonanz treten können. Dabei wird ein wesentlicher Teil der Elektronenstrahlenergie auf die Ionenstrahlimpulse übertragen, während eine geringe Restmenge von unter 10 % der Elektronenstrahlenergie dem Hauptkollektor 13 zugeführt wird. Im Gegensatz zur Fig. 9 weist diese erfindungsgemäße Lösung einen oberen Ringspalt 16 und einen unteren Ringspalt 17 auf, die

den Elektronenstrahl umgeben, während dazwischen ein Koppelstück 18 angeordnet ist.

Bezugszeichenliste

1	Ionenbeschleunigertank
2	Zentralbehälter
3	gepulster Ionenstrahl
4	Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung
5	Elektronenstrahlachse
6	Elektronenkanone
7	Hochfrequenzdeflektor
8	Gleichspannungsdeflektor
9	Kollektor mit Gegenfeld
10	Nachbeschleuniger
11	Leistungskoppler
12	Verbraucher
13	Hauptkollektor
14	Elektronenstrahl
15	Resonator
16	oberer Ringspalt
17	unterer Ringspalt
18	Kopplungsstufe
19	Inhomogenes Feld
20	Homogenes transversalgerichtetes Wechselfeld
21	Ausgangskreis
22	ringförmige Kavität
23	Antenne
24	Koaxialkabel
25	Ringspalt
26	einspaltige Kavität
27	Ringresonatorraum
28	Gehäuse

29	Äquipotentiallinien
30-35	Ablenkplatten des symmetrischen Gleichspannungsdeflektors
36-39	Ablenkplatten des asymmetrischen Gleichspannungsdeflektors
40-43	Ablenkplatten des Gleichspannungsdeflektors
44	Zentrumslinie
45	Phasenschieber
47	Spule
48	Verstärker
49	Verstärker
f_1	Frequenzumsetzer
f_2	Frequenzumsetzer
50	Koppelpunkt
51	Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung
52	Plateau
53-54	Flanken

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung, umfassend:
 - (A) einen Ionenbeschleunigertank (1) mit zentraler Behälterachse (2) zur Führung und Beschleunigung eines gepulsten Ionenstrahls (3) in der Behälterachse (2),
 - (B) eine Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung (4) mit Elektronenstrahlachse (5) zur Mikrostrukturierung und Verstärkung von Stromimpulsen für die Versorgung der Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung mit Hochfrequenzleistung,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung (4) mit ihrer Elektronenstrahlachse (5) quer und versetzt zur Behälterachse (2) angeordnet ist und außerhalb des Ionenbeschleunigertanks (1)
 - (a) eine Elektronenkanone (6),
 - (b) einen Hochfrequenzdeflektor (7),
 - (c) einen Gleichspannungsdeflektor (8),
 - (d) einen Kollektor mit Gegenfeld (9) und
 - (e) einen Nachbeschleuniger (10)aufweist und innerhalb des Ionenbeschleunigertanks
 - (f) einen Leistungskoppler (11) zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls (14) an einen Verbraucher (12),
 - (g) einen Hauptkollektor (13) zur Aufnahme der Restleistung des Elektronenstrahls (14)aufweist, wobei die Vorrichtungskomponenten (a) bis (g) nacheinander in Richtung des Elektronenstrahls (14) angeordnet sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Verbraucher (12) der gepulste Ionenstrahl (3) ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Leistungskoppler (11) einen Resonator (15) mit einem den Elektronenstrahl (14) radial umgebenden oberen Ringspalt (16) und einem den Elektronenstrahl (14) radial umgebenden unteren Ringspalt 17 in dem Ionenbeschleunigertank (1) aufweist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Leistungskoppler (11) eine zwischen Ringspalten (16, 17) angeordnete Kopplungsstufe (18) aufweist, die koaxial den Elektronenstrahl (14) umgibt und radial versetzt und transversal zum Ionenstrahl (3) innerhalb des Ionenbeschleunigertanks (1) angeordnet ist, wobei die Kopplungsstufe (18) an einer Driftröhrenhalterung (19) des Ionenstrahls (14) befestigt ist.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Elektronenstrahlkanone (6) eine Pierce-Typ-Elektronenstrahlkanone ist.
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Hochfrequenzdeflektor (7) ein homogenes transversal gerichtetes Wechselfeld (20) aufweist.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Gleichspannungsdeflektor (8) ein inhomogenes zeitlich konstantes transversales elektrischen Feld (19) aufweist.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Leistungskoppler (11) in seinem Ausgangskreis einen Resonator (15) aufweist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Ausgangskreis (21) eine einspaltige ringförmige Kavität (22) als Resonator (15) aufweist.
10. Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung mit
 - (a) einer Elektronenkanone (6),
 - (b) einem Hochfrequenzdeflektor (7),
 - (c) einem Gleichspannungsdeflektor (8),
 - (d) einem Kollektor (9) mit Gegenfeld,
 - (e) einem Leistungskoppler (11) zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls (14) an einen Verbraucher (12), und
 - (f) einen Hauptkollektor (13) zur Aufnahme der Restleistung des Elektronenstrahls (14), wobei die Vorrichtungskomponenten (a) bis (g) nacheinander in Richtung des Elektronenstrahls (14) angeordnet sind.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Verbraucher (12) eine Antenne (23) eines Koaxialkabelendes (24) ist, die in einem Resonator (15), der über einem den Elektronenstrahl (14) umgebenden Ringspalt (25) mit dem Elektronenstrahl (14) gekoppelt ist, hineinragt.
12. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Verbraucher (12) ein Antennenkoppler eines Hohlleiters ist, wobei der Antennenkoppler in einen Resonator (15) hineinragt, der den Elektronenstrahl (14) mit einem Ringspalt (25) umgibt.

13. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Verbraucher (12) ein Kopplungsfenster zu einem Hohlleiter ist, wobei das Kopplungsfenster sich zu einem Resonator (15) öffnet, der den Elektronenstrahl (14) mit einem Ringspalt (25) umgibt.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Elektronenstrahlkanone (6) eine Pierce-Typ-Elektronenstrahlkanone ist.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Hochfrequenzdeflektor (7) ein homogenes transversal gerichtetes Wechselfeld (20) aufweist.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Gleichspannungsdeflektor (8) ein inhomogenes zeitlich konstantes transversales elektrisches Feld (19) aufweist.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Leistungskoppler (11) in seinem Ausgangskreis (21) einen Resonator (15) aufweist.
18. Vorrichtung nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Ausgangskreis (21) eine einspaltige ringförmige Kavität (26) als Resonator (15) aufweist.
19. Verfahren zur Ionenstrahlbeschleunigung, das mit einer Vorrichtung durchgeführt wird, die einen Ionenbeschleuniger-tank (1) mit zentraler Behälterachse (2) zur Führung und Beschleunigung eines gepulsten Ionenstrahls (14) in der Behälterachse (2) und eine Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung (4) mit Elektronenstrahlachse

(5) zur Mikrostrukturierung und Verstärkung von Stromimpulsen für die Versorgung der Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung mit Hochfrequenzleistung aufweist, wobei

die Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung (4) mit ihrer Elektronenstrahlachse (5) quer und versetzt zur Behälterachse (2) angeordnet ist und außerhalb des Ionenbeschleunigertanks (1) mit einer Elektronenkanone (6) einen Elektronenstrahl (14) erzeugt, und

mittels eines Hochfrequenzdeflektors (7) und eines Gleichspannungsdeflektors (8) über 50 % des Elektronenstrahlstroms bei Frequenzen von 100 MHz bis 400 MHz taktweise zur Mikrostrukturierung des Elektronenstrahls (14) in einen Kollektor (9) mit Gegenfeld ablenkt und

ein Nachbeschleuniger (10) unter einer Beschleunigerspannung von mehreren 100 Kilovolt vorzugsweise 200 bis 400 Kilovolt den Elektronenstrahl (14) in den Ionenbeschleunigertank (1) einführt und

über einen Leistungskoppler (11) den Ionenstrahl (3) beschleunigt.

20. Verfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Elektronenstrahl (14) einer Intensitätsmodulation unterworfen wird, die der Betriebsfrequenz (f) des Ionenstrahls (3) entspricht.
21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Kollektor (9) mit Gegenfeld bis zu 80 % der Elektronenstrahlenergie aufnimmt.

22. Verfahren zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung, das folgende Verfahrensschritte aufweist:
 Erzeugen eines Elektronenstrahls (14) mittels einer Elektronenstrahlkanone (5),
 Beaufschlagen des Elektronenstrahls (14) mit einem hochfrequenten Wechselfeld (20) unter gleichzeitiger hochfrequenter Auslenkung des Elektronenstrahls (14),
 Hochfrequentes Ausblenden von bis zu 80 % der Elektronenstrahlenergie zu einem Kollektor (9) mit Gegenfeld,
 Nachbeschleunigen des hochfrequenzmodulierten Elektronenstrahls (14) zu Elektronenstrahlimpulsen,
 Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Leistungskoppler (11).
23. Verfahren nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über ein Koaxialkabelende (24) erfolgt, das mit einer Antenne (23) in einen Ringresonatorraum (27) ragt, welcher über einen den Elektronenstrahl (14) umgebenden Ringspalt (25) mit dem hochfrequenten energiereichen Elektronenstrahl (14) kommuniziert.
24. Verfahren nach Anspruch 22 oder Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Hohlleiter erfolgt, der mit einer Koppelantenne in einen Ringresonatorraum (27) ragt, welcher über einen den Elektronenstrahl (14) umgebenden Ringspalt (25) mit dem hochfrequenten, energiereichen Elektronenstrahl (14) kommuniziert.
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Hohlleiter erfolgt, der über ein Koppelfenster an einen Ringresonator (27) angeschlossen ist, wobei der

Resonator (15) über einen den Elektronenstrahl (14) umgebenden Ringspalt (25) mit dem Elektronenstrahl (14) kommuniziert.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 25, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Elektronenstrahl (14) mit hoher Raumladungskonstanten gemäß der Child-Langmuir-Gleichung von einer Elektronenstrahlkanone (6) mit einem Elektronenstrahl von 20 A bis 60 A, vorzugsweise 30 A bis 50 A, bei einer Beschleunigungsspannung (U_c) von 20 kV bis 60 kV, vorzugsweise 30 kV bis 50 kV, erzeugt wird.
27. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Elektronenstrahl (14) mittels eines longitudinalen Magnetfeldes transversal im Brillouin-Gleichgewicht stabilisiert wird.
28. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 27, **dadurch gekennzeichnet, daß** der intensitätsmodulierte Elektronenstrahl (14) einen schmalbandigen HF-Resonator im Ausgangskreis bei einer Betriebsfrequenz (f) anregt.
29. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 28, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Elektronenstrahl (14) ein homogenes transversal gerichtetes elektrisches Wechselfeld (20) durchläuft.
30. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 25, **dadurch gekennzeichnet, daß** zwischen 50 % und 80 % der Elektronenstrahlenergie von der Elektronenstrahlachse (5) abgelenkt werden.

31. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 22 bis 30, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei näherungsweise konstanter Elektronenenergie von 30 keV bis 50 keV in einem vorgespannten Kollektor (9) mit Gegenfeld von -30 kV bis -40 kV der abgelenkte Anteil des Elektronenstrahls aufgefangen wird.
32. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 31, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Energie aufgefangener Elektronen in einem Kollektor (9) mit Gegenfeld gesammelt und als Ladestrom der Kathode der Elektronenstrahlkanone (6) zugeführt werden.
33. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 32, **dadurch gekennzeichnet, daß** die nicht abgelenkten Elektronenpakete im zeitlichen Abstand einer Betriebsfrequenz (f) entlang der Elektronenstrahlachse (14) bewegt und mit einer Hauptbeschleunigungsspannung zwischen 200 und 400 kV in einen Ausgangskreis (21) der Vorrichtung, der als Resonator (15) ausgebildet ist, eintreten.
34. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Resonator (15) im Ausgangskreis (21) der Vorrichtung anspringt, wobei hochfrequente Felder im Resonator (15) die Energie der Elektronen aufnehmen, diese abbremsen und eine Ausgangsleitung, vorzugsweise ein Koaxialkabelende (24) und/oder einen Hohlleiter speisen.
35. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 34, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine Restenergie der Elektronen in einem Hauptkollektor (13) abgegeben wird.

36. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 35, **dadurch gekennzeichnet, daß** für eine elektronische Ablenkung in dem Hochfrequenzdeflektor (7) für eine Betriebsfrequenz (f) das angesteuerte Hochfrequenzsignal aus einem Hauptbestandteil bei der Frequenz (f/2) und einer Überlagerung der Frequenz (5f/2) mit einem Amplitudenverhältnis 5:1 besteht.
37. Vorrichtung zur Hochfrequenzleistungsverstärkung, insbesondere zur Versorgung einer Vorrichtung mit einer Kavität zur Ionenstrahlbeschleunigung mit Hochfrequenzleistung, umfassend:
einen Vakuumtank mit zentraler Tankachse zur Erzeugung und Beschleunigung eines gepulsten Elektronenstrahls (14) längs der Tankachse,
dadurch gekennzeichnet, daß
eine Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung (4) mit ihrer Elektronenstrahlachse (5) quer und versetzt zu einer Behälterachse (2) eines Ionenbeschleunigertanks (1) angeordnet ist und außerhalb des Ionenbeschleunigertanks (1)
(a) eine Elektronenkanone (6),
(b) einen Hochfrequenzdeflektor (7),
(c) einen Gleichspannungsdeflektor (8),
(d) einen Kollektor (9) mit Gegenfeld und
(e) einen Nachbeschleuniger (10)
aufweist und innerhalb des Ionenbeschleunigertanks
(f) einen ersten sowie einen zweiten Spalt zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls (14) an den Ionenstrahl (3)
(g) einen Hauptkollektor (13) zur Aufnahme der Restleistung des Elektronenstrahls (14)
aufweist, wobei die Vorrichtungskomponenten (a) bis (g) nacheinander in Richtung des Elektronenstrahls (14) angeordnet sind.

38. Vorrichtung nach Anspruch 37, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Ausgangskreis einen Leistungskoppler zur Einspeisung in einen Wellenleiter aufweist.
39. Vorrichtung nach Anspruch 38, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Ausgangskreis als einspaltige Kavität ausgeführt ist.
40. Vorrichtung nach Anspruch 38, **dadurch gekennzeichnet, daß** die gesamte Elektronenstrahlenergie ohne Nachbeschleunigung in der Elektronenstrahlkanone erzeugbar ist.

Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkung mit einer Elektronenstrahlachse (5) zur Mikrostrukturierung und Verstärkung von Stromimpulsen. Eine derartige Vorrichtung ist besonders geeignet für Impulsfrequenzen von 100 bis 400 MHz und Leistungsverstärkungen von mehreren Megawatt. Die Vorrichtung ist insbesondere einsetzbar für eine Ionenstrahlbeschleunigung, wobei die Vorrichtung unmittelbar in einen Ionenbeschleunigertank (1) mit zentraler Behälterachse (2) zur Führung und Beschleunigung eines gepulsten Ionenstrahls (3) in der Behälterachse (2) angeordnet wird. Dabei wird die Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungs Vorrichtung (4) mit ihrer Elektronenstrahlachse (5) quer und versetzt zur Behälterachse (2) angeordnet und weist außerhalb des Ionenbeschleunigertanks (1) Vorrichtungskomponenten zur Mikrostrukturierung des Elektronenstrahls (14) auf und innerhalb des Behälters Vorrichtungskomponenten zur Leistungsankopplung des Elektronenstrahls an den Verbraucher, der in einer bevorzugten Ausführungsform der Ionenstrahl (3) selbst ist. Ferner bezieht sich die vorliegende Erfindung auf entsprechende Verfahren, einerseits zur Ionenstrahlbeschleunigung und andererseits zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung.

[Fig. 1, Fig. 9 und Fig. 10]

Fig. 1.

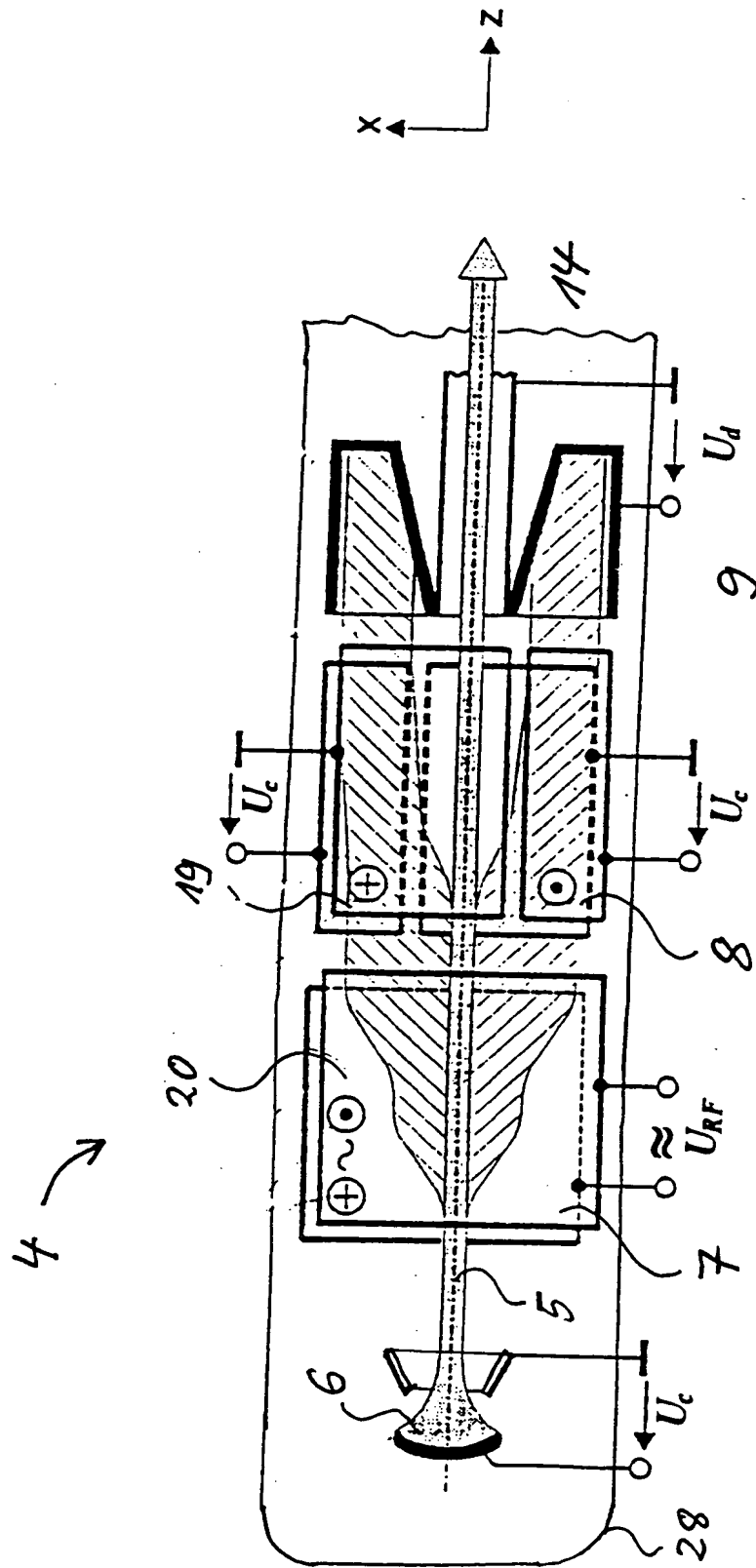


Fig. 2

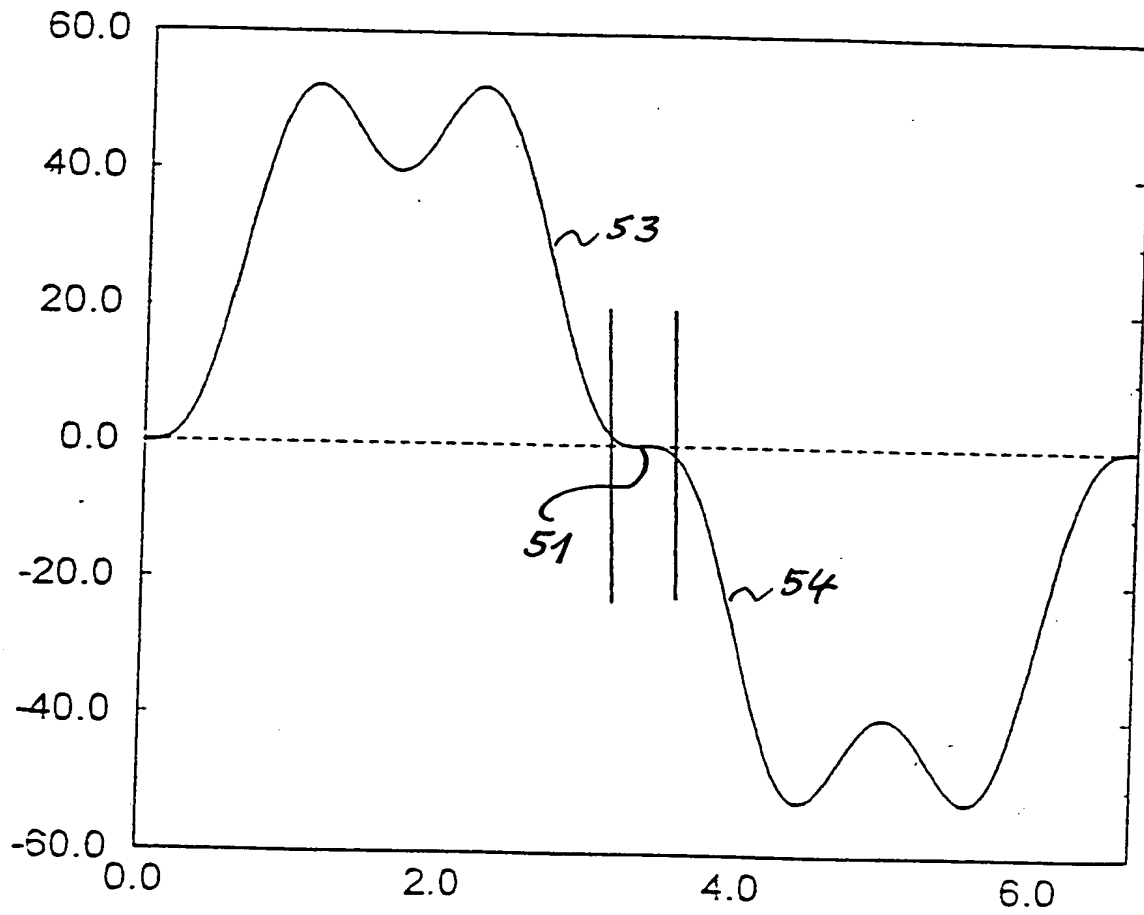


Fig. 3

3/7

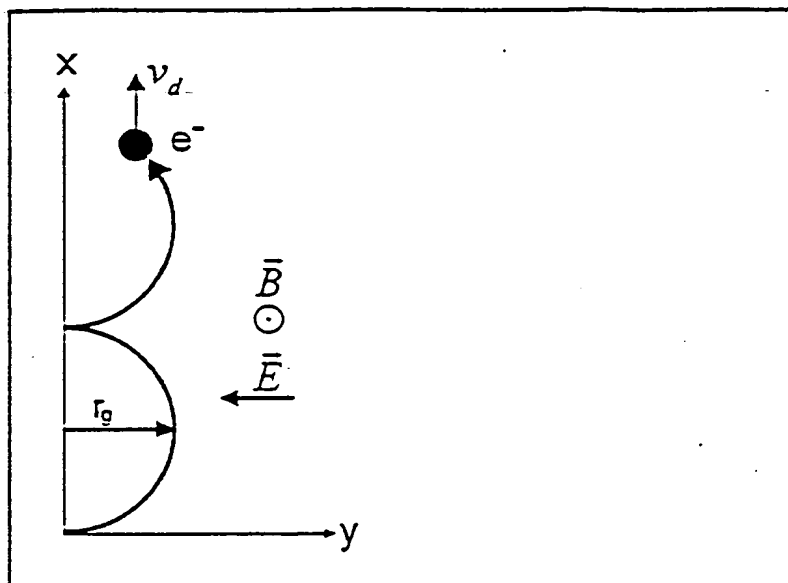


Fig. 4a

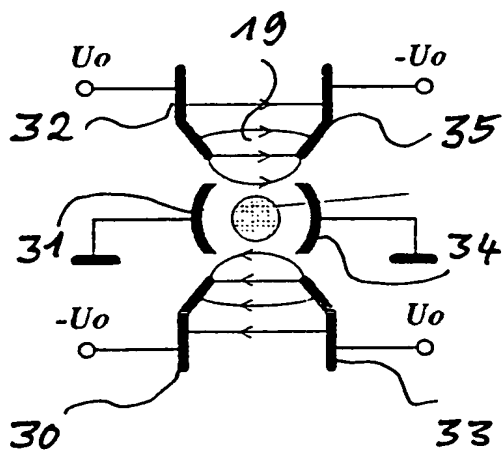


Fig. 4b

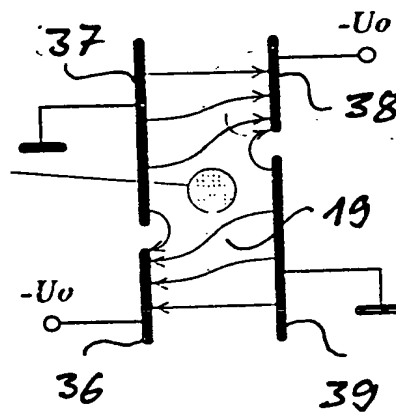


Fig. 5

4/7

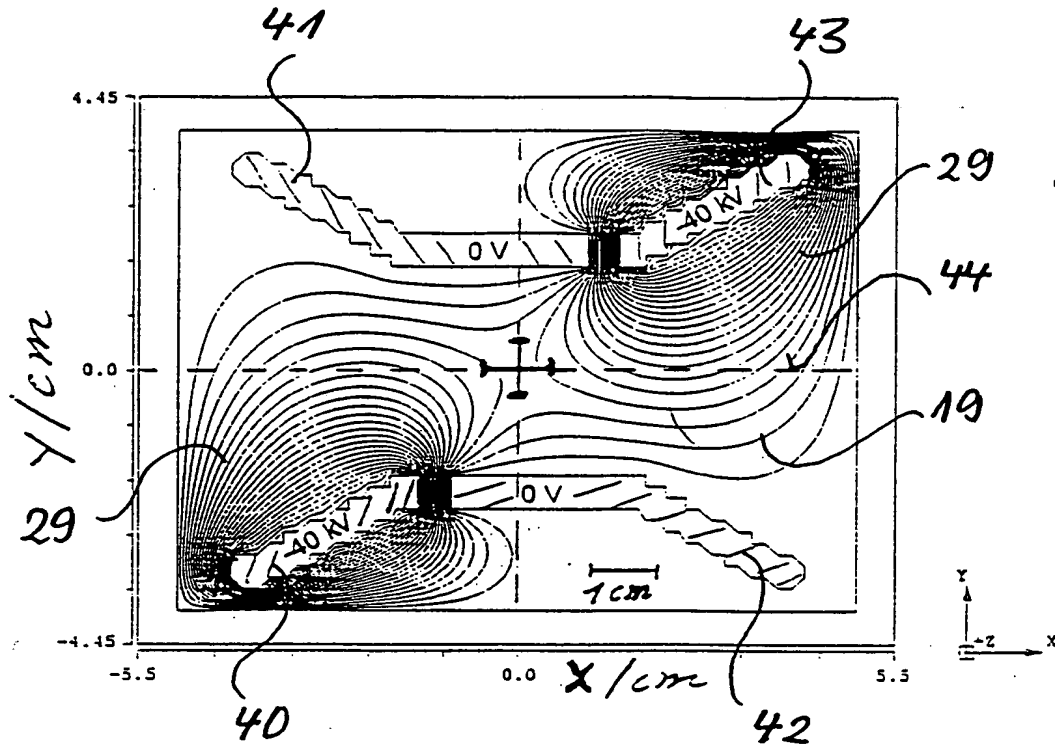


Fig. 6

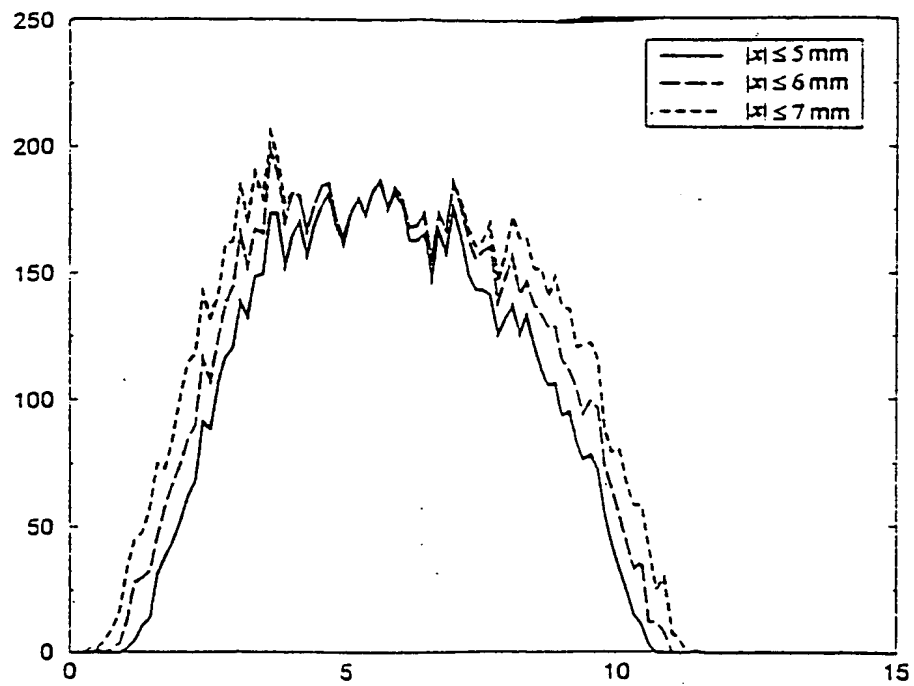


Fig. 7

5/7

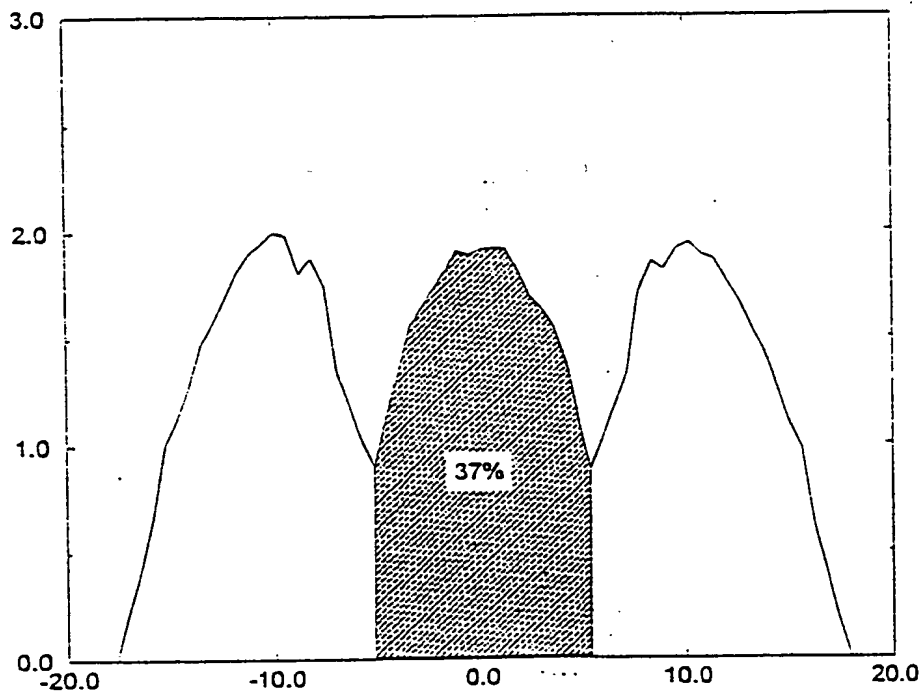


Fig. 8

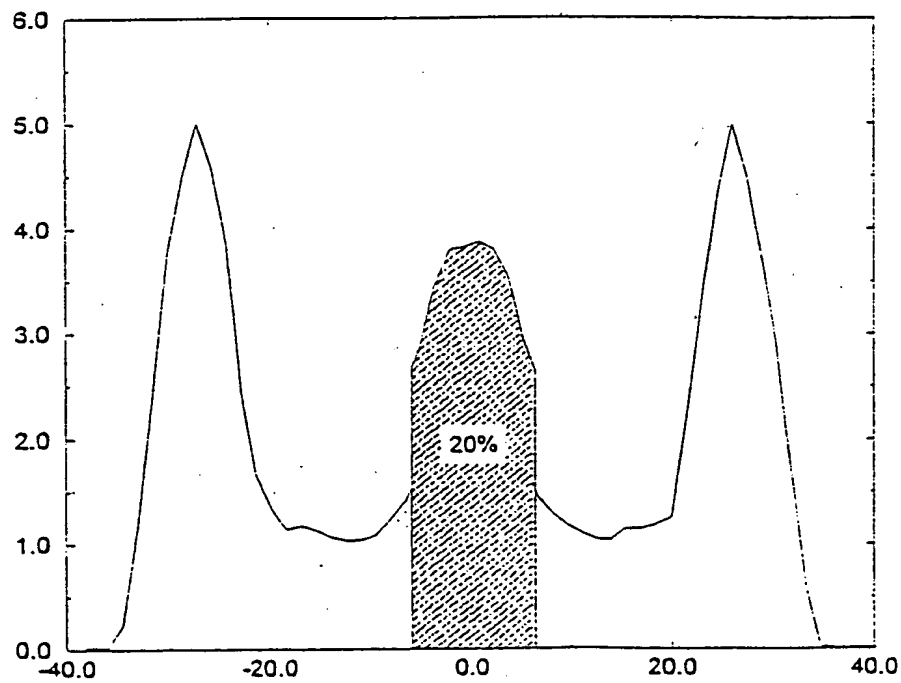


Fig. 9

6/7

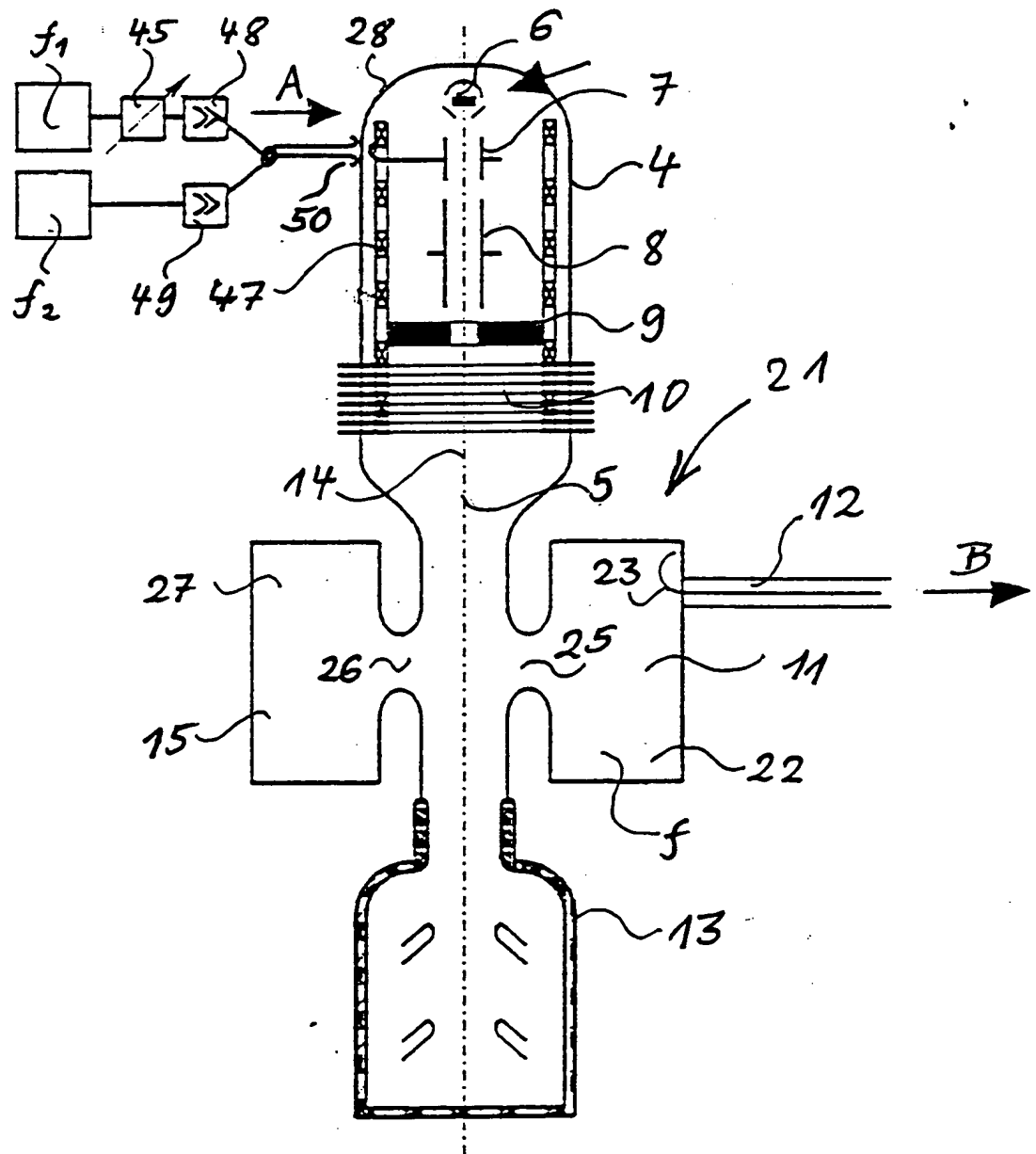
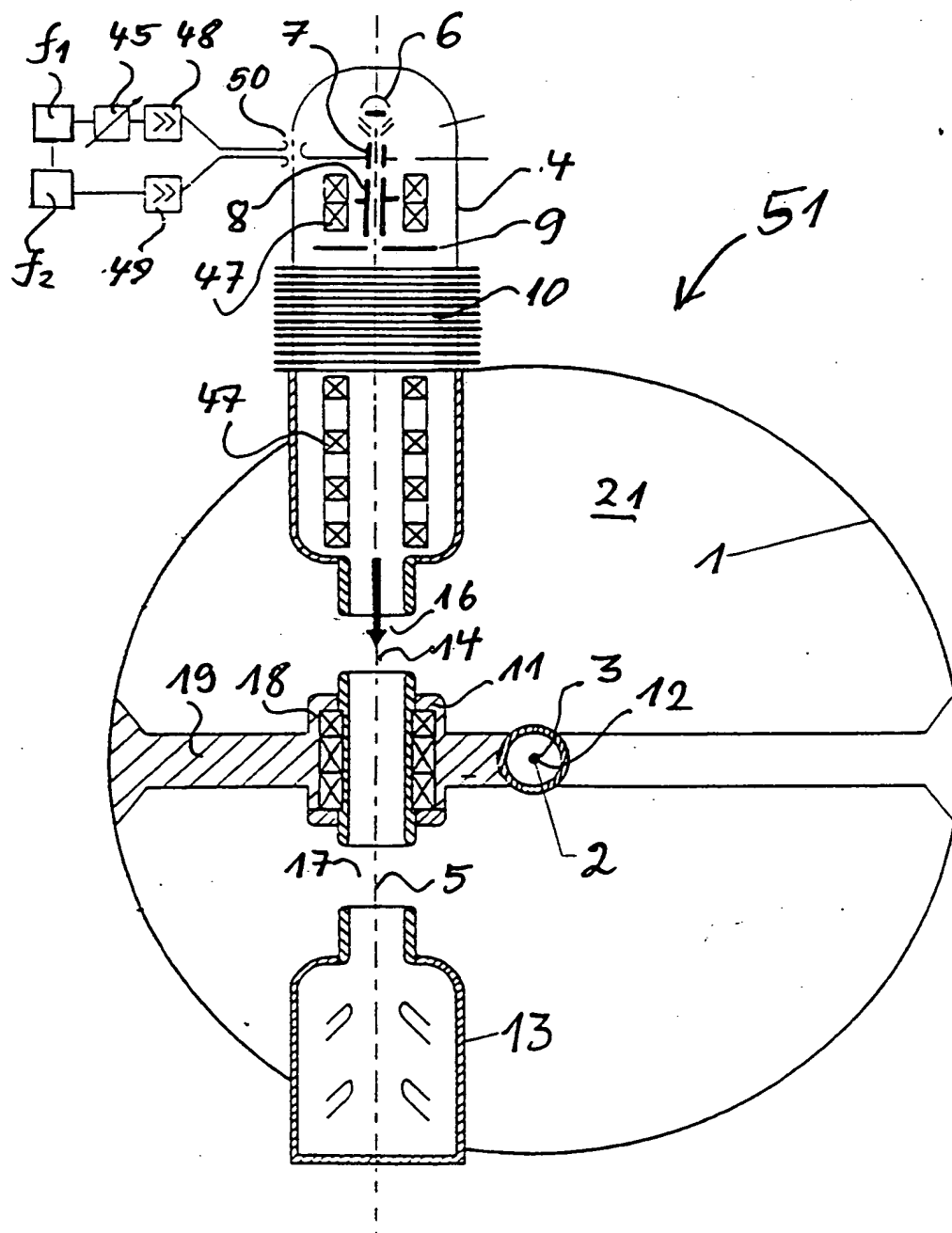


Fig. 10

717



VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts 12251-GSI/St	WEITERES VORGEHEN siehe Mitteilung über die Übermittlung des internationalen Recherchenberichts (Formblatt PCT/ISA/220) sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5	
Internationales Aktenzeichen PCT/EP 01/08413	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 20/07/2001	(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) 17/08/2000
Anmelder GESELLSCHAFT FÜR SCHWERIONENFORSCHUNG MBH		

Dieser internationale Recherchenbericht wurde von der Internationalen Recherchenbehörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Internationalen Büro übermittelt.

Dieser internationale Recherchenbericht umfaßt insgesamt 3 Blätter.

☒ Darüber hinaus liegt ihm jeweils eine Kopie der in diesem Bericht genannten Unterlagen zum Stand der Technik bei.

1. Grundlage des Berichts

a. Hinsichtlich der **Sprache** ist die internationale Recherche auf der Grundlage der internationalen Anmeldung in der Sprache durchgeführt worden, in der sie eingereicht wurde, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.

☐ Die internationale Recherche ist auf der Grundlage einer bei der Behörde eingereichten Übersetzung der internationalen Anmeldung (Regel 23.1 b)) durchgeführt worden.

b. Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbaren **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz** ist die internationale Recherche auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt worden, das

☐ in der internationalen Anmeldung in Schriftlicher Form enthalten ist.

☐ zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.

☐ bei der Behörde nachträglich in schriftlicher Form eingereicht worden ist.

☐ bei der Behörde nachträglich in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.

☐ Die Erklärung, daß das nachträglich eingereichte schriftliche Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgelegt.

☐ Die Erklärung, daß die in computerlesbarer Form erfaßten Informationen dem schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen, wurde vorgelegt.

2. ☐ Bestimmte Ansprüche haben sich als nicht recherchierbar erwiesen (siehe Feld I).

3. ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung (siehe Feld II).

4. Hinsichtlich der Bezeichnung der Erfindung

☒ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.

☐ wurde der Wortlaut von der Behörde wie folgt festgesetzt:

5. Hinsichtlich der Zusammenfassung

☒ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.

☐ wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der in Feld III angegebenen Fassung von der Behörde festgesetzt. Der Anmelder kann der Behörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.

6. Folgende Abbildung der **Zeichnungen** ist mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen: Abb. Nr. 10

☒ wie vom Anmelder vorgeschlagen

☐ keine der Abb.

☐ weil der Anmelder selbst keine Abbildung vorgeschlagen hat.

☐ weil diese Abbildung die Erfindung besser kennzeichnet.

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGS- GEGENSTANDES
IPK 7 H01J25/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H05H H01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

PAJ, INSPEC, WPI Data, EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 587 481 A (THOMSON TUBES ELECTRONIQUES) 16. März 1994 (1994-03-16) Spalte 3, Zeile 2E -Spalte 5, Zeile 49 Abbildungen 1,2	1,3,8, 10,13, 17,24, 35,37,38
A	US 5 497 053 A (SWYDEN THOMAS A ET AL) 5. März 1996 (1996-03-05) Spalte 3, Zeile 3 - Zeile 13 Spalte 7, Zeile 41 -Spalte 8, Zeile 25 Spalte 10, Zeile 44 - Zeile 67 Abbildungen 6,9 --- -/--	1,6,10, 15,19, 29,37

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

10. Dezember 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

21/12/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Capostagno, E

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 123 (E-178), 27. Mai 1983 (1983-05-27) & JP 58 042141 A (NIPPON DENKI KK), 11. März 1983 (1983-03-11) Zusammenfassung ---	5
A	DATABASE WPI Section EI, Week 198135 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class V05, AN 1981-J1141D XP002185134 & SU 777 754 A (RYAZAN WIRELESS ENG INST), 4. Januar 1980 (1980-01-04) Zusammenfassung ---	27
A	LORING C JR ET AL: "The Klystrode, a new high efficiency, high power electron tube for UHF industrial applications" JOURNAL OF MICROWAVE POWER AND ELECTROMAGNETIC ENERGY, 1993, USA, Bd. 28, Nr. 3, Seiten 174-182, XP001039895 ISSN: 0832-7823 Abbildung 1 -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 01/08413

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0587481	A	16-03-1994	FR 2695755 A1	18-03-1994
			DE 69311238 D1	10-07-1997
			DE 69311238 T2	18-09-1997
			EP 0587481 A1	16-03-1994
US 5497053	A	05-03-1996	US 5955849 A	21-09-1999
JP 58042141	A	11-03-1983	NONE	
SU 777754	A	07-11-1980	SU 777754 A1	07-11-1980

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. Februar 2002 (21.02.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/15218 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01J 25/04**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/08413

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. Juli 2001 (20.07.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
100 40 719.6 17. August 2000 (17.08.2000) DE
100 40 896.6 18. August 2000 (18.08.2000) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **GESELLSCHAFT FÜR SCHWERIONEN-FORSCHUNG MBH** [DE/DE]; Planckstr. 1, 64291 Darmstadt (DE).

(72) Erfinder; und

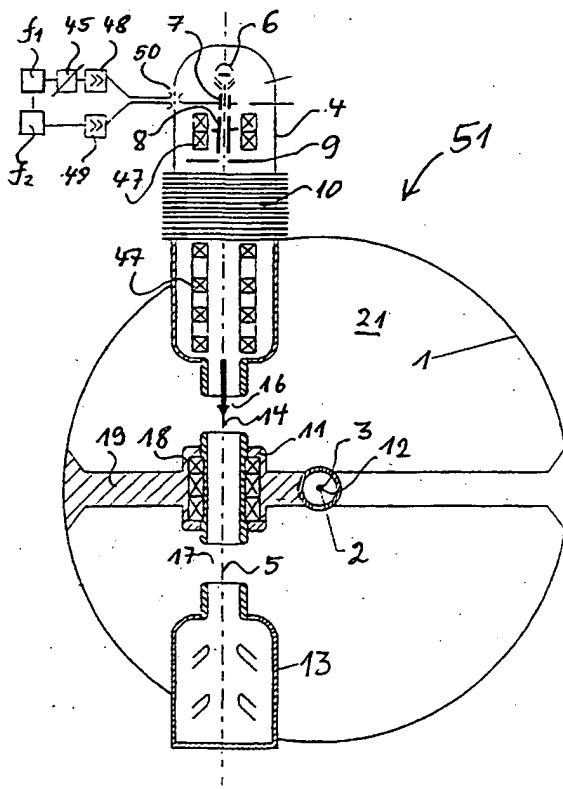
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **RATZINGER, Ulrich** [DE/DE]; Kreuzstr. 38, 64331 Weiterstadt (DE). **MINAEV, Serguej** [RU/DE]; Tvardovskyst. 19, 123458 Moskau (RU). **SETZER, Stefan** [DE/DE]; Mühlbachstr. 10, 64331 Weiterstadt-Schneppenhausen (DE).

(74) Anwälte: **BOETERS, Hans, D.** usw.; Boeters & Bauer, Bereiteranger 15, 81541 München (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR ION BEAM ACCELERATION AND ELECTRON BEAM PULSE FORMATION AND AMPLIFICATION

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR IONENSTRAHLBESCHLEUNIGUNG UND ZUR ELEKTRO-
NENSTRAHLIMPULSFORMUNG UND -VERSTÄRKUNG



(57) Abstract: The invention relates to a device for electron beam pulse formation and amplification, comprising an electron beam axis (5) for microstructuring and amplifying current pulses. One such device is especially suitable for pulse frequencies from 100 to 400 MHz and power amplifications of several megawatts. Said device can especially be used for ion beam acceleration, being placed directly into an ion acceleration tank (1) having a central tank axis (2) for guiding and accelerating a pulsed ion beam (3) in the tank axis (2). The electron beam impulse formation and amplification device (4) is arranged in such a way that the electron beam axis thereof is perpendicular and staggered in relation to the tank axis (2). Outside the ion acceleration tank, the device comprises components for microstructuring electron beams (14), and inside the tank, components for power coupling the electron beam to the consumer, said consumer constituting the ion beam (3) itself in a preferred embodiment. The invention further relates to corresponding methods for ion beam acceleration and electron beam pulse formation and amplification.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung- und -verstärkung mit einer Elektronenstrahlachse (5) zur Mikrostrukturierung und Verstärkung von Stromimpulsen. Eine derartige Vorrichtung ist besonders geeignet für Impulsfrequenzen von 100 bis 400 MHz und Leistungsverstärkungen von mehreren Megawatt. Die Vorrichtung ist insbesondere einsetzbar für eine Ionenstrahlbeschleunigung, wobei die Vorrichtung

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/15218 A1



(81) Bestimmungsstaat (*national*): US.

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

unmittelbar in einen Ionenbeschleunigertank (1) mit zentraler Behälterachse (2) zur Führung und Beschleunigung eines gepulsten Ionenstrahls (3) in der Behälterachse (2) angeordnet wird. Dabei wird die Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungsvorrichtung (4) mit ihrer Elektronenstrahlachse (5) quer und versetzt zur Behälterachse (2) angeordnet und weist ausserhalb des Ionenbeschleunigertanks (1) Vorrichtungskomponenten zur Mikrostrukturierung des Elektronenstrahls (14) auf und innerhalb des Behälters Vorrichtungskomponenten zur Leistungsankopplung des Elektronenstrahls an den Verbraucher, der in einer bevorzugten Ausführungsform der Ionenstrahl (3) selbst ist. Ferner bezieht sich die vorliegende Erfindung auf entsprechende Verfahren, einerseits zur Ionenstrahlbeschleunigung und andererseits zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung.

Vorrichtung und Verfahren zur Ionenstrahlbeschleunigung und zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Ionenstrahlbeschleunigung und zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung gemäß den unabhängigen Ansprüchen.

Für eine Ionenstrahlbeschleunigung von Schwerionen wie Kohlenstoffionen, Sauerstoffionen und dergleichen in Linearbeschleunigern und Cyclotronbeschleunigern werden Leistungen im Bereich von mehreren Megawatt bei Frequenzen um 300 MHz benötigt. Für derart hohe Leistungen und bei derartigen Frequenzen versagen die konventionellen Hochfrequenzleistungsverstärker wie Topfkreisverstärker, die im allgemeinen in einem Frequenzbereich von 50 bis 200 MHz und in einem Leistungsspektrum bis zu 50 kW einsetzbar sind. Für höhere Frequenzen und höhere Leistungen bietet sich das Prinzip der Klystron-Leistungsverstärkung an, das sich im Frequenzbereich von 350 MHz bis 20 GHz durchgesetzt hat. Dabei handelt es sich wie bei Wanderfeltröhren um eine lineare Anordnung, wobei ein aus einer Elektronenkanone austretender Strahl mittels longitudinaler Geschwindigkeitsmodulation in Elektronenpakete gegliedert wird. Diese Mikrostruktur des Strahls wird in sogenannten Buncher-Kavitäten

mittels gerichteter longitudinaler hochfrequenter elektrischer Felder erzeugt. Der derart strukturierte Elektronenstrahl erzeugt dann in der Ausgangskavität oder dem Ausgangskreis die gewünschte Hochfrequenzleistung. Nach Abzug dieser Hochfrequenzleistung wird seine Restenergie schließlich in einem Kollektor deponiert oder abgeleitet. Leistungsklystrons mit Betriebsfrequenzen von 200 MHz haben bereits eine Baulänge von 5 m. Für Betriebsfrequenzen darunter werden die Baulängen unhandlich und die Geräte unförmig und beanspruchen einen Raumbedarf, der mit erheblichen Kosten verbunden ist. Eine wesentliche Ursache für diesen enormen Raumbedarf liegt in der Formierung der Elektronenstrahlimpulse bzw. der Elektronenpakete in der Röhre, wozu langgestreckte, mehrere hundert Zentimeter lange Driftstrecken benötigt werden. Für wesentlich tiefere Frequenzen, wie unter 200 MHz, wird deshalb auf die Topfkreisverstärker in Form von Leistungsröhren zurückgegriffen, jedoch für den Frequenzbereich zwischen 200 und 350 MHz gibt es bisher keine wirtschaftliche Lösungen, die einen hohen Leistungspegel von mehreren Megawatt und eine entsprechende Betriebsfrequenz zulassen.

In den letzten Jahren hat sich ein Konzept durchgesetzt, das sich Klystrodenprinzip nennt. Bei diesem Prinzip handelt es sich um eine Kombination von Elementen des röhrengetriebenen Verstärkers und des Klystrons. Die Elektronenimpulse werden dabei mittels eines Steuergitters erzeugt und der gepulste Elektronenstrahl durchläuft dann nacheinander eine Ausgangskavität und einen Kollektor. Zwar kann diese Anordnung sehr kompakt gebaut werden, aber, soweit sich dieses Konzept durchgesetzt hat, wird es für Fernsehsender eingesetzt mit einer relativ geringen Sendeleistung von maximal 60 kW im UHF-Band, so daß diese Lösung in Konkurrenz zu den standardmäßigen Topfkreisverstärkern einsetzbar ist, jedoch nicht die hohen Leistungen bringt, die für eine Ionenstrahlbeschleunigung erforderlich sind.

Leistungsklystrons, die durchaus in der Lage wären, mehrere Megawattverstärkung zu liefern, verlieren jedoch bei Frequenzen von 100 MHz bis 400 MHz wegen des technischen Aufwands und besonders wegen ihrer Baugröße bei diesen tiefen Frequenzen ihre sonst vorhandenen Vorteile. Andererseits sind Klystroden, wie sie oben erwähnt werden, aufgrund der Verwendung eines Steuergitters bezüglich der maximal erzielbaren Hochfrequenzleistung sowie bezüglich der erzielbaren Wartungsintervalle äußerst begrenzt einsetzbar. Leistungsröhren wie die Topfkreisverstärker bleiben im betrachteten Frequenzbereich deutlich unter 1 MW Ausgangsleistung im Dauerbetrieb, und bei gepulstem Betrieb fällt die Maximalleistung von etwa 3 MW im unteren Frequenzbereich auf unter 1 MW im oberen Frequenzbereich ab, so daß auch diese für mehrere Megawatt nicht verwendet werden können. Der Gesamtwirkungsgrad fällt bei diesen Leistungsröhren auch dadurch ab, daß die Kathodenheizleistung von typisch 10 kW bei den erforderlichen Pulswiederholraten zur Verstärkung von Ionenstrahlimpulsen von mehreren Hertz bis zu 50 Hz kontinuierlich aufzubringen ist.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, einen leistungsstarken Hochfrequenzverstärker im Frequenzbereich von 100 MHz bis etwa 400 MHz anzugeben, der im gepulsten Betrieb mit einer 1 ms Pulslänge und einer Wiederholrate von kleiner gleich 50 Hz Senderleistungen bis zu 10 MW erreicht. Darüber hinaus ist es Aufgabe der Erfindung, eine technische Lösung anzugeben, welche die aktuelle kritische Situation bei der Produktion von Hochfrequenzleistungsröhren überwindet, die darin liegt, daß immer weniger Anbieter derartige Leistungsröhren produzieren, so daß neben den oben genannten Einschränkungen dieses Verstärkertyps auch die Versorgungslage langfristig nicht gesichert erscheint.

Gelöst wird diese Aufgabe mit den unabhängigen Ansprüchen, vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Erfindungsgemäß wird eine Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung angegeben, die eine Elektronenkanone, einen Hochfrequenzdeflektor, einen Gleichspannungsdeflektor, einen Kollektor mit Gegenfeld, einen Nachbeschleuniger, einen Leistungskoppler zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls an einen Verbraucher und einen Hauptkollektor zur Aufnahme der Restleistung des Elektronenstrahls aufweist. Dazu sind die oben aufgelisteten Vorrichtungen nacheinander in Richtung des Elektronenstrahls angeordnet.

Die Elektronenstrahlkanone erzeugt zunächst einen kontinuierlichen Elektronenstrahl, der in dem Hochfrequenzdeflektor, angeregt durch ein hochfrequentes Anregungssignal abgelenkt wird, so daß nur im Bereich der Nulldurchgänge dieses Signals der Elektronenstrahl periodisch in der Ionenstrahlachse weitergegeben werden kann. Durch den sich anschließenden Gleichspannungsdeflektor wird dieser Effekt verstärkt und der Anteil des abgelenkten Elektronenstrahls wird in einem Kollektor mit Gegenfeld gesammelt und dieser Strom zu der Kathode der Elektronenkanone zurückgekoppelt. Der in dieser Weise in Elektronenpakete aufgliederte Elektronenstrahl wird in einem Nachbeschleuniger beschleunigt und einem Leistungskoppler zugeführt, der die Leistung des Elektronenstrahls an einen Verbrauchers ankoppeln kann. Die verbleibende nicht ausgekoppelte Restleistung des Elektronenstrahl wird einem Hauptkollektor zugeführt. Somit werden in vorteilhafter Weise statt der beim Klystron verwendeten longitudinalen Geschwindigkeitsmodulation bei der vorliegenden Erfindung transversale hochfrequente elektrische Felder im Hochfrequenzdeflektor und transversalgerichtete statische

elektrische Felder im Gleichspannungsdeflektor verwendet, um Elektronenimpulse zu formen und vorzuverstärken.

Innerhalb einer Hochfrequenzperiode werden somit etwa 80 % des kontinuierlich angelieferten Elektronenstrahls abgelenkt und in einem negativ vorgespannten Kollektor mit Gegenspannung aufgefangen. Die auf der Strahlachse weiterlaufenden verbleibenden Elektronenstrahlimpulse in Form von Elektronenpaketen durchlaufen dann die Hauptbeschleunigung mit mehreren hundert Kilovolt und erreichen derart beschleunigt die Ausgangskavität des Leistungskopplers, der die Leistung des Elektronenstrahls an einen Verbraucher ankoppelt. Die nicht ausgekoppelte Restleistung wird im Hauptkollektor gesammelt. Die reine Elektronenstrahlimpulsformierung kann bei diesem Konzept in einem Frequenzbereich zwischen 100 und 400 MHz innerhalb einer Baulänge von nur 0,5 m untergebracht werden. Dieses ist eine Verbesserung durch Verringerung der Baulänge um mehr als das Zehnfache, zumal ein Klystron für 350 MHz bei der geforderten Leistungsaufnahme bereits 5 m lang ist. Somit entfällt ein wesentlicher Hinderungsgrund, für tiefe Frequenzen das Klystron anzuwenden. Bei der erfindungsgemäßen Lösung wird der Wirkungsgrad des Klystrons für die Erzeugung von Hochfrequenzleistungen auf wesentlich kürzerer Baulänge erreicht.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Verbraucher eine Antenne eines Koaxialkabelendes, die in einen Resonator, der über einen den Elektronenstrahl umgebenden Ringspalt mit dem Elektronenstrahl gekoppelt ist, hineinragt. Diese Ausführungsform entzieht mit seiner Antenne einen wesentlichen Anteil der Resonanzenergie aus dem Resonator, und damit werden die Elektronen im Elektronenstrahl gebremst, so daß nur noch eine geringe verbleibende nicht ausgekoppelte Restleistung im Hauptkollektor gesammelt werden muß.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Verbraucher ein Antennenkoppler eines Hohlleiters, der als koaxiale Durchföhrung durch die Wandung des Resonatorraumes ausgeföhrt ist. Dazu ragt der Antennenkoppler in den Resonatorraum hinein, der den Elektronenstrahl mit einem Ringspalt umgibt, so daß Energie aus dem Elektronenstrahl in den Resonator gekoppelt werden kann und über die Antennenkopplerdurchföhrung dann weiter an den Hohlleiter abgeleitet wird.

In einer weiteren bevorzugten Durchföhrung der Erfindung ist der Verbraucher ein Kopplungsfenster zu einem Hohlleiter, wobei das Kopplungsfenster sich zu dem Resonator hin öffnet. Auch in dieser Ausführungsform ist der Elektronenstrahl von dem Resonator mit einem Ringspalt umgeben.

Eine weitere erfindungsgemäße Lösung besteht in einer Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung, die einen Ionenbeschleunigertank mit zentraler Behälterachse zur Föhrung und Beschleunigung eines gepulsten Ionenstrahl aus Schwerionen in der Behälterachse umfaßt. Diese Vorrichtung weist darüber hinaus eine Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung mit Elektronenstrahlachse zur Mikrostrukturierung und Verstärker von Stromimpulsen für die Versorgung der Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung mit Hochfrequenzleistung auf.

Diese Lösung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung mit ihrer Elektronenstrahlachse quer und versetzt zur Behälterachse angeordnet ist und außerhalb des Ionenbeschleunigertanks eine Elektronenkanone, einen Hochfrequenzdeflektor, einen Gleichspannungsdeflektor, einen Kollektor mit Gegenfeld und einen Nachbeschleuniger aufweist, während innerhalb des Ionenbeschleunigertanks die Vorrichtung einen Leistungskoppler zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls an einen Verbraucher und einen

Hauptkollektor zur Aufnahme der Restleistung des Elektronenstrahls besitzt. Die aufgeführten Vorrichtungskomponenten der Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung sind hintereinander in Richtung des Elektronenstrahls angeordnet.

Diese Lösung hat den Vorteil, daß der Ionenbeschleunigertank selbst gleichzeitig als Ausgangskreis für die Leistungsverstärkungsstufe verwendet wird. Ein Leistungstransport vom Verstärker zum Tank entfällt. Eine Ankopplung der Leistungsstufe an das Tankvolumen ist damit möglich. Damit wird ein Aufbau zur Ionenstrahlbeschleunigung für Ionenstrahlen für Schwerionen erreicht, der äußerst überschaubar und äußerst kostengünstig hergestellt werden kann.

Zur Kopplung zwischen treibendem Elektronenstrahl und Ionenbeschleunigertank wird eine im Potential passende Stelle entlang der Driftröhrenhalterung des Ionenstrahls eingesetzt. Ein transversales elektrisches Wechselfeld mit geeigneter Zeitstruktur lenkt dabei unmittelbar nach der Vorbeschleunigung des Elektronenstrahls zeitlich ungünstig liegende Elektronen ab, so daß nur Elektronenimpulse mit der gewünschten Frequenz zur Verstärkung der Ionenstrahlimpulse die Hauptbeschleunigung durchlaufen und anschließend im Feld des Ionenbeschleunigertanks abgebremst werden, weil ihre Energie an den Ionenstrahl angekoppelt ist.

Somit ist in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung der Verbraucher unmittelbar der gepulste Ionenstrahl.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist der Leistungskoppler einen Resonator mit einem den Elektronenstrahl radial umgebenden oberen Ringspalt und einem den Elektronenstrahl radial umgebenden unteren Ringspalt im Io-

nenbeschleunigertank auf. Ein Durchlaufen des Elektronenstrahls von zwei Ringspalten, nämlich einem oberen und einem unteren Ringspalt im Tank erscheint vorteilhaft, da der Elektronenstrahl den gekühlten Aufhänger erreichen muß, um seine Restenergie in dem Hauptkollektor abzugeben. Dazu wird vorteilhaft die Driftstrecke zwischen den Spalten möglichst kurz gehalten, um eine günstige Geometrie zu erreichen, welche die Spannungsverteilung über dem Driftröhrenfuß nicht wesentlich beeinträchtigt. Außerdem geben in vorteilhafter Weise die Elektronen unabhängig von ihrer Phasenlage im Impuls beim Durchlaufen der beiden Ringspalte die gleiche Energie an den Ionenstrahl ab, so daß die Restenergie in dem Hauptkollektor oder Auffänger kleiner als 10 % der Impulsenergie ist.

Um derart angepaßte Ringspalte in dem Ionenbeschleunigertank anzuordnen, weist der Leistungskoppler darüber hinaus zwischen den Ringspalten eine Kopplungsstufe auf, die coaxial den Elektronenstrahl umgibt und radial versetzt und transversal zum Ionenstrahl innerhalb des Ionenbeschleunigertanks angeordnet ist, wobei die Kopplungsstufe an einer Driftröhrenhalterung des Ionenstrahls befestigt ist.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Elektronenstrahlkanone eine Piercety-Elektronenstrahlkanone. Mit einer derartigen Kanone wird in vorteilhafter Weise ein hochperveanter Elektronenstrahl mit entsprechend hoher Raumladungskonstanten gemäß der Child-Langmuir-Gleichung bei Impulslängen von 1 ms erzeugt, der einen Strahlstrom von beispielsweise 40 A bei einer Beschleunigungsspannung von 40 kV erreicht.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist der Hochfrequenzdeflektor ein homogenes transversal gerichtetes Wechselfeld auf, mit dem kurze Elektronenstrahlpakete im Bereich

der Betriebsfrequenz von 100 bis 400 MHz geschaffen werden, während der Elektronenstrahl in den Impulspausen abgelenkt wird und einem Kollektor mit Gegenfeld zugeführt wird, der seinerseits den Strom der Kathode der Elektronenstrahlkanone zur Verfügung stellt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist der Gleichspannungsdeflektor ein inhomogenes, zeitlich konstantes transversales elektrisches Feld auf, während der Elektronenstrahl mittels eines longitudinalen Magnetfeldes gleichzeitig transversal stabilisiert wird, so daß die Brillouin-Gleichgewichtsbedingung erfüllt bleibt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist der Leistungskoppler in seinem Ausgangskreis einen Resonator auf, der über einen Ringspalt mit dem Elektronenstrahl kommuniziert. Dem Resonator kann wiederum die Energie durch einen Verbraucher, der über eine Koaxialleitung, einen Hohlleiter oder unmittelbar angekoppelt ist, wie im Falle des Ionenstrahls, entzogen werden, so daß die Elektronenpakete im Elektronenstrahl abgebremst werden und nur noch mit geringer Energie, die teilweise unter 10 % der Gesamtelektronenstrahlenergie liegt, in dem Hauptkollektor gesammelt werden müssen.

Neben der für die unmittelbare Ankopplung an einen Ionenstrahlverbraucher gefundenen Lösung weist der Ausgangskreis auch eine einspaltige ringförmige Kavität als Resonator auf, wobei die Kavität den Ionenstrahl umgibt. Mit dieser Lösung ist es möglich, beliebige Verbraucher über Koaxialkabel oder Hohlleiter an die erfindungsgemäße leistungsverstärkende Vorrichtung anzuschließen.

Die Pulslänge und die Wiederholungsrate des Elektronenstrahls, die sogenannte Makrostruktur, sind bei der erfindungsgemäßen

Lösung frei wählbar, so daß Impulslängen von einer Millisekunde bei Wiederholffrequenzen von unter 50 Hz und einer Leistung von 10 MW mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung und dem erfindungsgemäßen Verfahren verwirklicht werden können.

Da ein schmalbandiger HF-Resonator, wie er in den bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung als ringförmige Kavität mit Ringspalt angegeben ist, erst dann mit einem Elektronenstrahl wirkungsvoll angeregt werden kann, wenn der Strahl eine Intensitätsmodulation bei der entsprechenden Betriebsfrequenz aufweist, wird diese sogenannte Mikrostruktur des Elektronenstrahls mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens erzeugt. Dieses erfindungsgemäße Verfahren zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung weist folgende Verfahrensschritte auf:

Erzeugen eines Elektronenstrahls mittels einer Elektronenstrahlkanone;

Beaufschlagen des Elektronenstrahls mit einem hochfrequenten Wechselfeld unter gleichzeitig hochfrequenter Auslenkung des Elektronenstrahls;

Hochfrequentes Ausblenden von bis zu 80 % der Elektronenstrahlenergie zu einem Kollektor mit Gegenfeld;

Nachbeschleunigen des hochfrequenzmodulierten Elektronenstrahls zu verstärkten Elektronenstrahlimpulsen;

Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Leistungskoppler.

Somit durchläuft der Strahl zunächst ein homogenes transversal gerichtetes elektrisches Wechselfeld, danach ein inhomogenes zeitlich konstantes transversales elektrisches Feld. Dabei werden etwa 80 % des Elektronenstrahls von der Strahlachse abge-

lenkt und bei nahezu konstanter Elektronenenergie von 40 keV in einem vorgespannten Kollektor mit z.B. $U = -40 \text{ kV} + x$ aufgefangen. Die Energie dieser Elektronen kann weitestgehend wieder an die Kathode der Elektronenkanone zurückgeführt werden und dient als Ladestrom.

Der nichtabgelenkte Strahlanteil, der in Teilchen oder Elektronenpaketen im zeitlichen Abstand gemäß der Betriebsfrequenz vorliegt, bewegt sich entlang der Strahlachse weiter und durchläuft die Hauptbeschleunigungsspannung, die beispielsweise bei 300 kV liegen kann, und tritt dann in den Ausgangskreis des Resonators ein. Ein derartiger Resonator kann eine einspaltige ringförmige Kavität aufweisen, wie sie auch bei anderen Lösungen üblich ist. Ein derartiger Resonator wird durch die durchlaufenden Elektronenpakete angeregt, und die im Resonator entstehenden Hochfrequenzfelder bremsen die Elektronen und speisen gleichzeitig die Ausgangsleitung des Verstärkers, die vorzugsweise eine Koaxialleitung oder ein Hohlleiter mit entsprechenden Ankopplungsantennen oder einem entsprechenden Kopplungsfenster sein können. Schließlich wird die restliche Elektronenenergie im Hauptkollektor abgegeben, wobei insbesondere die erfindungsgemäße Formierung der Elektronenstrahlmikrostruktur für eine Verkürzung der Baulänge von sonst für höhere Betriebsfrequenzen üblichen Klystronleistungsverstärkern sorgt.

Somit wird bei einem bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens die Hochfrequenzenergie über ein Koaxialkabel ausgekoppelt, das mit einer Antenne in einen Ringresonatorraum ragt, welcher über einen den Elektronenstrahl umgebenden Ringspalt mit dem hochfrequenten, energiereichen Elektronenstrahl kommuniziert.

In einem weiteren bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens wird das Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen

Hohlleiter erreicht, der mit einer Koppelantenne in einen Ringresonatorraum hineinragt, welcher über einen den Elektronenstrahl umgebenden Ringspalt mit dem hochfrequenten, energiereichen Elektronenstrahl kommuniziert.

Bei einem weiteren bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens wird das Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Hohlleiter erfolgen, der über ein Koppelfenster an einen Ringresonatorraum angeschlossen ist, wobei der Ringresonator über einen den Elektronenstrahl umgebenden Ringspalt mit dem Elektronenstrahl kommuniziert.

Ein weiteres bevorzugtes Durchführungsbeispiel des Verfahrens sieht vor, daß ein Elektronenstrahl mit hoher Raumladungskonstanten gemäß der Child-Langmuir-Gleichung von einer Elektronenstrahlkanone mit einem Strahlstrom von 20 A bis 60 A, vorzugsweise zwischen 30 bis 50 A, bei einer Beschleunigungsspannung (U_c) von 20 kV bis 60 kV, vorzugsweise von 30 kV bis 50 kV erzeugt wird.

Ein weiteres bevorzugtes Durchführungsbeispiel des Verfahrens sieht vor, daß der Elektronenstrahl mittels eines longitudinalen Magnetfeldes transversal im Brillouin-Gleichgewicht stabilisiert wird. Weiterhin ist vorgesehen, daß der intensitätsmodulierte Elektronenstrahl einen schmalbandigen Hochfrequenzresonator im Ausgangskreis bei einer Betriebsfrequenz anregt. Dazu durchläuft der Elektronenstrahl ein homogenes transversalgerichtetes elektrisches Wechselfeld, wobei zwischen 50 und 80 % der Elektronenstrahlenergie von der Strahlachse abgelenkt werden.

In einem weiteren bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens wird bei näherungsweise konstanter Elektronenenergie von 30 keV bis 60 keV in einem vorgespannten Kollektor mit Gegen-

feld von -30 kV bis -40 kV der abgelenkte Anteil des Elektronenstrahls aufgefangen. Dabei wird die Energie der aufgefangenen Elektronen in dem Kollektor mit Gegenfeld gesammelt und als Ladestrom der Kathode der Elektronenkanone zugeführt.

In einem weiteren bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens werden die nicht abgelenkten Elektronenpakete in zeitlichem Abstand einer Betriebsfrequenz entlang der Strahlachse bewegt und geführt und treten mit einer Hauptbeschleunigungsspannung zwischen 200 kV und 400 kV in einen Ausgangskreis der Vorrichtung, der als Resonator ausgebildet ist, ein. Dabei springt der Resonator im Ausgangskreis der Vorrichtung an, wobei hochfrequente Felder im Resonator die Energie der Elektronen aufnehmen, diese abbremsen und eine Ausgangsleitung, vorzugsweise ein Koaxialkabel und/oder einen Hohlleiter speisen.

Die verbleibende Restenergie der Elektronen wird vorzugsweise in einem Hauptkollektor abgegeben. Für eine elektrische Strahlablenkung in dem Hochfrequenzdeflektor wird in einem bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens für eine Betriebsfrequenz f das ansteuernde Hochfrequenzsignal aus einem Hauptbestandteil bei einer Frequenz von $f/2$ und einer Überlagerung mit der Frequenz $5f/2$ in einem Amplitudenverhältnis von 5:1 eingestellt. Dabei liegt die Betriebsfrequenz zwischen 100 und 400 MHz und pro Periode werden etwa 20 % der Elektronenstrahlteilchen impulsweise weitergegeben, da durch die Überlagerung der beiden Frequenzen ein entsprechender Nulldurchgang für eine entsprechende Zeitspanne pro Periode erreicht wird.

Die Erfindung wird nun anhand von Figuren näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze einer ersten Ausführungsform einer Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung.

Fig. 2 zeigt ein Diagramm einer Periode eines Hochfrequenzspannungssignals, das an einem Hochfrequenzdeflektor angelegt wird.

Fig. 3 zeigt die Ablenkwirkung auf Elektronen in einem Hochfrequenzdeflektor.

Figuren 4a und 4b zeigen Prinzipskizzen möglicher elektrischer Felder in einem Gleichspannungsdeflektor.

Fig. 5 zeigt einen Querschnitt durch einen asymmetrischen Gleichspannungsdeflektor mit eingezeichneten Äquipotentiallinien.

Fig. 6 zeigt mehrere Intensitätsprofile entlang der Elektronenstrahlachse für unterschiedliche Blendenöffnungen des Kollektors mit Gegenfeld.

Fig. 7 zeigt eine Skizze der Elektronendichteverteilung nach Durchlaufen des Hochfrequenzdetektors.

Fig. 8 zeigt eine Skizze der Elektronendichteverteilung nach Durchlaufen des Hochfrequenzdeflektors und des Gleichspannungsdeflektors.

Fig. 9 zeigt eine Prinzipskizze einer Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung.

Fig. 10 zeigt eine Prinzipskizze einer Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung.

Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze einer ersten Ausführungsform einer Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung. Diese besteht im wesentlichen aus einem vakuum-

lichten Gehäuse 28, in dem hintereinandergeschaltet eine Elektronenkanone 6, ein Hochfrequenzdeflektor 7, ein Gleichspannungsdeflektor 8, ein Kollektor mit Gegenfeld 9 und ein nicht-gezeigter Nachbeschleuniger, der mit der Bezugsziffer 10 in Fig. 9 gezeigt wird, untergebracht sind. Die in Fig. 1 gezeigte Prinzipskizze dient im wesentlichen der Erläuterung des Funktionsprinzips der transversalen Ablenkeinheit zur Mikrostrukturformierung des Elektronenstrahls. Die entsprechenden Vielteilchenberechnungen zur Formierung von Elektronenpaketen in dieser Vorrichtung wurden mit Hilfe von geeigneten Softwareprogramm Paketen durchgeführt.

Der in Fig. 1 gezeigte Abschnitt von der Elektronenkanone 6 bis zum Kollektor mit Gegenfeld 9, welcher die abgelenkten Elektronen, die im gezeigten Strahlquerschnitt in der x/z -Ebene schraffiert gezeigt werden, auffängt, enthält die wesentlichen Teile der erfindungsgemäßen Elektronenstrahlformierungsvorrichtung. Es sind die beiden unmittelbar hintereinander angeordneten Ablenssysteme 7 und 8 deutlich zu erkennen, wobei die zweite elektrostatische Ablenkeinheit 8 durch das Kathodenpotential U_c versorgt werden kann. Die elektrische Feldrichtung E_y , die senkrecht zu der Darstellungsebene angeordnet ist, muß für $x > 0$ umgekehrt orientiert sein als für $x < 0$, um die Elektronenumlenkung der vorgeschalteten hochfrequenten Ablenkeinheit weiter zu verstärken. Die Umgebung der z -Achse, wie sie in der Darstellung verdeutlicht wird, wird im Gleichspannungsdeflektor 8 durch Überlappung der auf Masse liegenden Elektroden nahezu feldfrei gehalten, um die durchlaufenden Elektronenpakete möglichst wenig zu stören.

Fig. 2 zeigt ein Diagramm einer Periode eines Hochfrequenzspannungssignals, das an den Hochfrequenzdeflektor 7 angelegt wird. Dazu ist auf der Abzisse die Zeit in Nanosekundeneinheiten eingetragen und auf der Ordinate die Hochfrequenzablenkspannung in

kV. Innerhalb einer Hochfrequenzperiode bei einer Betriebsfrequenz f ergibt sich durch entsprechende Anregungsfrequenzen des Hochfrequenzdeflektors 7 ein wiederkehrendes Plateau 51 bei der Spannung 0 V. Diese wiederkehrende Plateau 51 bei der Spannung 0 V definiert den durchlaufenden Strahlanteil, der nicht abgelenkt wird. Ferner zeigt das Diagramm der Fig. 2 die steil ansteigenden Spannungsflanken 53 und 54 am Beginn und am Ende des Plateaus 51, wodurch eine starke Ablenkung des Elektronenstrahls ausgelöst wird, was wiederum die Impulspausen definiert. Das Plateau selbst entspricht etwa einem Strahlanteil von 20 % bzw. einer Phasenbreite von 70° in Einheiten der Betriebsfrequenz. Demnach besteht das ansteuernde HF-Signal aus einem Hauptbestandteil bei der Frequenz $f/2$ und einer Überlagerung mit der Frequenz $5f/2$. Bei einem Amplitudenverhältnis von etwa 5:1 und der entsprechenden Phasenbeziehung entsteht diese in Fig. 2 gezeigte und gewünschte Signalform, die sich aus den Komponenten $V = \sin(\pi ft) - 0,2 V \cdot \sin(5\pi ft)$ zusammensetzt.

Fig. 3 zeigt die Ablenkwirkung auf die Elektronen in einem Hochfrequenzdeflektor 7. Dabei beschreiben die Elektronen in der x/y-Ebene unter dem Einfluß des elektrischen und magnetischen Feldes die dort gezeigten Bahnen. Der Vorteil gekreuzter elektrischer und magnetischer Felder ist dabei, daß die Auslenkung mittels der ExB-Drift im wesentlichen in der x/y-Ebene erfolgt, so daß die Deflektorplatten des Hochfrequenzdeflektors 7 keine Begrenzung darstellen, solange der Gyroradius r_g geeignet gewählt ist.

Die Figuren 4a und 4b zeigen Prinzipskizzen möglicher elektrischer Felder in einem Gleichspannungsdeflektor 8. In dem hier diskutierten Ausführungsbeispiel wird der asymmetrische Gleichspannungsdeflektor der Fig. 4b in einer leicht modifizierten Form, wie sie die Fig. 5 zeigt, angewandt. Der unsymmetrische Gleichspannungsdeflektor 8 hat gegenüber dem symmetrischen

Gleichspannungsdeflektor der Fig. 4a den Vorteil einer einfacheren Gestaltung durch lediglich vier Ablenkplatten 36 bis 38 gegenüber sechs Ablenkplatten 30 bis 35 der Fig. 4a.

Fig. 5 zeigt einen Querschnitt durch einen asymmetrischen Gleichspannungsdeflektor 8 mit eingezeichneten Äquipotentiallinien 29. Deutlich ist an dieser Darstellung zu erkennen, daß das Zentrum zwischen den Ablenkplatten 40 bis 43 feldfrei gehalten ist, so daß Elektronen, die diese Abdeckplatten im Zentrum durchfliegen, nicht oder nur geringfügig zusätzlich abgelenkt werden. Ferner besteht die Modifikation der Ausführungsform nach Fig. 5 gegenüber der Prinzipskizze nach Fig 4b darin, daß die an Masse (0 V) liegenden Ablenkplatten 41 und 42 gegenüber der Zentrumslinie 44 zunächst parallel und dann teilweise abgewinkelt sind und die mit einer negativen Spannung in dieser Ausführungsform von -40 kV beaufschlagten Ablenkplatten gegenüber der Zentrumslinie 44 vollständig abgewinkelt sind.

Fig. 6 zeigt mehrere Intensitätsprofile entlang der Elektronenstrahlachse in z-Richtung für unterschiedliche Blendenöffnungen eines Kollektors 9 mit Gegenfeld. Bei dieser Darstellung ist auf der Abszisse die z-Richtung in Zentimetern eingetragen, und auf der Ordinate ist in beliebigen Einheiten die Elektronenstrahldichte vergleichsweise aufgetragen. Die Kurven wurden für drei unterschiedliche Blendenöffnungen des Kollektors 9 mit Gegenfeld von ≤ 5 mm, ≤ 6 mm und ≤ 7 mm aufgenommen. Das Impulspaket oder Elektronenpaket, das durch diese Blende periodisch ausgegeben wird, hat eine Länge von nicht ganz 10 cm, wobei die Länge mit zunehmendem Durchmesser der Öffnung in dem Kollektor 9 mit Gegenfeld geringfügig zunimmt. Das Intensitätsmaximum hängt bei dieser Impulsbreite jedoch nicht von der Blendenöffnung ab, sondern das Intensitätsmaximum wird offensichtlich durch den Gleichspannungsdeflektor mit einer Beschleunigungs-

spannung U_c bestimmt und ist bei gleichbleibender Gleichspannung auch gleich intensiv.

Fig. 7 zeigt eine Skizze der Verteilung der Elektronendichte nach Durchlaufen des Hochfrequenzdeflektors. Bei dieser Darstellung ist auf der Abszisse die x-Position in mm und auf der Ordinate die Elektronendichte in beliebigen Einheiten aufgetragen. Nach dem Durchlaufen des Hochfrequenzdeflektors 7 liegen noch 37 % der Elektroden im zentralen Durchlaßbereich der Elektronenstrahlformierungsvorrichtung, während große Anteile des Elektronenstrahls nach unten oder nach oben durch das hochfrequente Wechselfeld abgelenkt werden und für eine weitere Beschleunigung nicht zur Verfügung stehen. Der Gleichstromelektronenstrahl, wie er aus der Elektronenkanone 6 kommt, wird demnach bereits in Elektronenpakete zerschnitten. Noch deutlicher zeigt dieses die Fig. 8.

Fig. 8 zeigt eine Skizze der Elektronendichteverteilung nach Durchlaufen des Hochfrequenzdeflektors 7 und des Gleichspannungsdeflektors 8. Auf der Abszisse ist wiederum die x-Position in mm eingetragen, und auf der Ordinate die Elektronendichte in beliebigen vergleichenden Einheiten. Nach dem Gleichspannungsdeflektor konzentrieren sich die Maxima der abgelenkten Elektroden im deutlichen Abstand von der Strahlmitte, die bei 0,0 mm liegt. Lediglich 20 % der Elektronen verbleiben in der Strahlmitte und können in dem nachfolgenden Hochbeschleuniger weiter beschleunigt werden. Diese 20 % ergeben sich aus Elektronenpaketen bzw. Elektronenimpulsen, wie sie in räumlicher Erstreckung in Fig. 6 dargestellt wurden. Der Querschnitt der weiter zu transportierenden Teilchenpakete ergibt sich in seiner Dichteverteilung zu etwa 13 mm in x-Richtung und zu etwa 11 mm in y-Richtung. Aus diesem Querschnitt schneidet die Blendenöffnung des Kollektors mit Gegenfeld einen entsprechenden Elektronenimpulsstrahl aus.

Fig. 9 zeigt eine Prinzipskizze einer Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung. In Fig. 9 definieren gleiche Bezugszeichen gleiche Vorrichtungskomponenten wie in Fig. 1. Eine Erörterung dieser Vorrichtungskomponenten wird deshalb weitestgehend weggelassen. In Fig. 9 ist zusätzlich zu den in Fig. 1 gezeigten Vorrichtungskomponenten ein Frequenzumsetzer f_1 zu sehen, der bei der halben Betriebsfrequenz f schwingt und über einen Phasenschieber 45 einem Verstärker 48 zugeführt wird, der das Signal des Frequenzumsetzers f_1 auf etwa 50 kW verstärkt. Diesem Signal wird ein Signal überlagert, das von einem zweiten Frequenzumsetzer f_2 geliefert wird, der eine Frequenz von $5f/2$ erzeugt und dieses Signal dem Signal des ersten Frequenzumsetzers am Koppelpunkt 50 überlagert. Dabei wird neben der richtigen Phase eine Amplitudenanpassung durch den Verstärker 49 eingestellt, so daß die Amplitude des Signals des Frequenzumsetzers f_2 lediglich $1/5$ der Amplitude des Frequenzumsetzers f_1 beträgt. Dieses Signal, das für eine Periode die Form des in Fig. 2 gezeigten Diagramms annimmt, wird an die Platten des Hochfrequenzdeflektors 7 angelegt. Dem Signal überlagert ist ein Magnetfeld, das durch die Spule 47 innerhalb des Gehäuses 28 erzeugt wird.

Zwischen den Platten wird ein Elektronenstrahl 14 in der Elektronenstrahlachse 5 von einer Elektronenstrahlkanone 6 erzeugt, die in dieser Ausführungsform eine Pierce-Typ-Elektronenstrahlkanone ist. Diese Elektronenkanone erzeugt einen hochperveanten Elektronenstrahl mit hoher Raumladungskonstanten gemäß der Child-Langmuir-Gleichung und wird mittels eines longitudinalen Magnetfeldes der Spule 47 transversal stabilisiert und im Brillouin-Gleichgewicht gehalten.

Nach der Stückelung des Elektronenstrahls in dem Hochfrequenzdeflektor 7 werden sowohl die abgelenkten Elektronenpakete

als auch die im Achszentrum verbleibenden Elektronenpakete durch den Gleichspannungsdeflektor 8 geführt. Dabei wird der zeitliche Abstand der Pakete durch die Betriebsfrequenz f , die zwischen 100 und 400 MHz liegt, bestimmt. Während die abgelenkten Elektronenstrahlpaketanteile von dem Kollektor 9 mit Gegenfeld aufgenommen und über eine Verbindungsleitung der Kathode der Elektronenstrahlkanone 6 zugeführt werden, erreichen die im Zentrum befindlichen etwa 20 % der Elektronen des Elektronenstrahls den Nachbeschleuniger 10, der mit einer Beschleunigungsspannung in dieser Ausführungsform von 300 kV die Elektronenstrahlpulse oder Elektronenpakete energetisch verstärkt, so daß sie mit dem sich anschließenden ringförmigen Resonator 15 über den Ringspalt 25 in Wechselwirkung treten können.

Dabei entzieht der Resonator angeregt durch die Frequenz des Elektronenstrahls den Elektronenpaketen Energie, die in dieser Ausführungsform über eine Antenne 23 einer Koaxialausgangsleitung 12 zugeführt wird. Dieses Koaxialkabel kann an einen Verbraucher angeschlossen sein. In anderen Ausführungsformen der Erfindung ist der Verbraucher unmittelbar ein Ionenstrahl einer Beschleunigungskammer oder eines Ionenbeschleunigertanks, beispielsweise einer Ionenstrahltherapieanlage oder einer Ionenstrahlmaterialuntersuchungsanlage, die im wesentlichen mit Schwerionen wie Kohlenstoff- und Sauerstoffionen betrieben wird.

Die Ausgangsleitung 12 kann auch ein Hohlleiter sein, der über ein Kopplungsfenster mit dem Resonator 15 kommuniziert oder über eine koaxiale Durchführung mit dem Resonator 15 in Verbindung steht. Die dem Resonator 15 und damit dem Elektronenstrahl 14 durch die Ausgangsleitung nicht entzogene Energie wird von dem Hauptkollektor 13 aufgenommen. Dieser Hauptkollektor 13 weist vorzugsweise wassergekühlte Wandungen auf, um die Restenergie abzuführen, die in dieser Ausführungsform unter 10 %

liegt. Bei einer Maximalleistung von 10 MW ist dennoch eine hohe Kühlleistung erforderlich, um ein Schmelzen des Gehäuses des Hauptkollektors zu vermeiden.

Fig. 10 zeigt eine Prinzipskizze einer Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung. Das erfindungsgemäße Prinzip hat den Vorteil, daß es unmittelbar in eine Anlage zur Ionenstrahlbeschleunigung eingebracht werden kann. Entsprechend zeigt die Fig. 10 eine Vorrichtung 51 zur Ionenstrahlbeschleunigung, die einen Ionenbeschleunigertank 1 mit zentraler Behälterachse 2 zur Führung und Beschleunigung eines gepulsten Ionenstrahls 3 in der Behälterachse 2 aufweist. Dazu ist eine Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung 4 mit Elektronenstrahlachse 5 zur Mikrostrukturierung und Verstärkung von Stromimpulsen für die Versorgung der Vorrichtung 51 zur Ionenstrahlbeschleunigung mit Hochfrequenzleistung derart angeordnet, daß die Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung 4 mit ihrer Elektronenstrahlachse 5 quer und versetzt zur Behälterachse 2 angeordnet ist und außerhalb des Ionenbeschleunigertanks 1 eine Elektronenstrahlkanone 6, einen Hochfrequenzdeflektor 7, einen Gleichspannungsdeflektor 8, einen Kollektor 9 mit Gegenfeld und einen Nachbeschleuniger 10 aufweist und innerhalb des Ionenbeschleunigertanks 1 einen Leistungskoppler 11 zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls 14 an einen Verbraucher 12, der in diesem Fall der gepulste Ionenstrahl 3 ist, wobei ein Hauptkollektor 13 die Restleistung des Elektronenstrahls 14 aufnimmt und die genannten Vorrichtungskomponenten nacheinander in Richtung des Ionenstrahls 14 angeordnet sind.

Zur Auskopplung der Energie des Elektronenstrahls 14 aus der Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung 4 sind ein oberer Ringspalt 16 und ein unterer Ringspalt 17 mit dazwischen angeordneter den Ionenstrahl coaxial umgebenden

Kopplungsstufe angeordnet. Die Kopplungsstufe 18 wird durch die Driftröhrenhalterung 19 gehalten, die gleichzeitig im Bereich des Zentrums des Ionenbeschleunigertanks 1 den Ionenstrahl 3 umgibt. Die Spaltgröße und der Spaltabstand sowie der Versetzungsabstand zwischen Elektronenstrahlachse und Ionenstrahlachse sind derart auf einander abgestimmt, daß das Volumen des Ionenbeschleunigertanks 1 als Resonator für den gepulsten Elektronenstrahl dienen kann, wobei der Resonator unmittelbar auf den im Zentrum geführten gepulsten Ionenstrahl wirkt.

Die halbe Betriebsfrequenz f des Ionenstrahls 3 wird in dem Frequenzumsetzer f_1 über einen Phasenschieber 45 und einen Verstärker 48 einem Koppelpunkt 50 zugeführt, an dem gleichzeitig die $f_{5/2}$ Betriebsfrequenz f mit dem Frequenzumsetzer f_2 über den Verstärker 49 anliegt. Mit diesen überlagerten Frequenzen wird der Hochfrequenzdeflektor 7 betrieben, der den Ionenstrahl aus der Elektronenstrahlkanone 6 moduliert.

Anschließend wird in einem Gleichspannungsdeflektor 8 die Auslenkung und die Trennung zwischen ausgelenkten Ionenstrahlabschnitten und damit Impulspausen und im Zentrum weitergeführten Ionenstrahlabschnitten und damit Impulslängen verstärkt, so daß die abgelenkten Ionenstrahlabschnitte von dem Kollektor 9 mit dem Gegenfeld aufgenommen werden können. Die zentral auf der Ionenstrahlachse 5 fortgeführten Elektronenpakete werden in dem Nachbeschleuniger 10 auf eine entsprechend hohe Energie gebracht, so daß sie mit dem Raumvolumen des Ionenbeschleunigertanks 1 in Resonanz treten können. Dabei wird ein wesentlicher Teil der Elektronenstrahlenergie auf die Ionenstrahlimpulse übertragen, während eine geringe Restmenge von unter 10 % der Elektronenstrahlenergie dem Hauptkollektor 13 zugeführt wird. Im Gegensatz zur Fig. 9 weist diese erfindungsgemäße Lösung einen oberen Ringspalt 16 und einen unteren Ringspalt 17 auf, die

den Elektronenstrahl umgeben, während dazwischen ein Koppelstück 18 angeordnet ist.

Bezugszeichenliste

- 1 Ionenbeschleunigertank
- 2 Zentralbehälter
- 3 gepulster Ionenstrahl
- 4 Elektronenstrahlimpulsformungs- und
-verstärkungseinrichtung
- 5 Elektronenstrahlachse
- 6 Elektronenkanone
- 7 Hochfrequenzdeflektor
- 8 Gleichspannungsdeflektor
- 9 Kollektor mit Gegenfeld
- 10 Nachbeschleuniger
- 11 Leistungskoppler
- 12 Verbraucher
- 13 Hauptkollektor
- 14 Elektronenstrahl
- 15 Resonator
- 16 oberer Ringspalt
- 17 unterer Ringspalt
- 18 Kopplungsstufe
- 19 Inhomogenes Feld
- 20 Homogenes transversalgerichtetes Wechselfeld
- 21 Ausgangskreis
- 22 ringförmige Kavität
- 23 Antenne
- 24 Koaxialkabel
- 25 Ringspalt
- 26 einspaltige Kavität
- 27 Ringresonatorraum
- 28 Gehäuse

- 29 Äquipotentiallinien
- 30-35 Ablenkplatten des symmetrischen Gleichspannungsdeflektors
- 36-39 Ablenkplatten des asymmetrischen Gleichspannungsdeflektors
- 40-43 Ablenkplatten des Gleichspannungsdeflektors
- 44 Zentrumslinie
- 45 Phasenschieber
- 47 Spule
- 48 Verstärker
- 49 Verstärker
- f_1 Frequenzumsetzer
- f_2 Frequenzumsetzer
- 50 Koppelpunkt
- 51 Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung
- 52 Plateau
- 53-54 Flanken

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung, umfassend:
 - (A) einen Ionenbeschleunigertank (1) mit zentraler Behälterachse (2) zur Führung und Beschleunigung eines gepulsten Ionenstrahls (3) in der Behälterachse (2),
 - (B) eine Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung (4) mit Elektronenstrahlachse (5) zur Mikrostrukturierung und Verstärkung von Stromimpulsen für die Versorgung der Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung mit Hochfrequenzleistung, **dadurch gekennzeichnet, daß**
 - die Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung (4) mit ihrer Elektronenstrahlachse (5) quer und versetzt zur Behälterachse (2) angeordnet ist und außerhalb des Ionenbeschleunigertanks (1)
 - (a) eine Elektronenkanone (6),
 - (b) einen Hochfrequenzdeflektor (7),
 - (c) einen Gleichspannungsdeflektor (8),
 - (d) einen Kollektor mit Gegenfeld (9) und
 - (e) einen Nachbeschleuniger (10)aufweist und innerhalb des Ionenbeschleunigertanks
 - (f) einen Leistungskoppler (11) zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls (14) an einen Verbraucher (12),
 - (g) einen Hauptkollektor (13) zur Aufnahme der Restleistung des Elektronenstrahls (14)aufweist, wobei die Vorrichtungskomponenten (a) bis (g) nacheinander in Richtung des Elektronenstrahls (14) angeordnet sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Verbraucher (12) der gepulste Ionenstrahl (3) ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Leistungskoppler (11) einen Resonator (15) mit einem den Elektronenstrahl (14) radial umgebenden oberen Ringspalt (16) und einem den Elektronenstrahl (14) radial umgebenden unteren Ringspalt 17 in dem Ionenbeschleunigertank (1) aufweist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Leistungskoppler (11) eine zwischen Ringspalten (16, 17) angeordnete Kopplungsstufe (18) aufweist, die koaxial den Elektronenstrahl (14) umgibt und radial versetzt und transversal zum Ionenstrahl (3) innerhalb des Ionenbeschleunigertanks (1) angeordnet ist, wobei die Kopplungsstufe (18) an einer Driftröhrenhalterung (19) des Ionenstrahls (14) befestigt ist.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Elektronenstrahlkanone (6) eine Pierce-Typ-Elektronenstrahlkanone ist.
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Hochfrequenzdeflektor (7) ein homogenes transversal gerichtetes Wechselfeld (20) aufweist.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Gleichspannungsdeflektor (8) ein inhomogenes zeitlich konstantes transversales elektrischen Feld (19) aufweist.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Leistungskoppler (11) in seinem Ausgangskreis einen Resonator (15) aufweist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Ausgangskreis (21) eine einspaltige ringförmige Kavität (22) als Resonator (15) aufweist.
10. Vorrichtung zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung mit
 - (a) einer Elektronenkanone (6),
 - (b) einem Hochfrequenzdeflektor (7),
 - (c) einem Gleichspannungsdeflektor (8),
 - (d) einem Kollektor (9) mit Gegenfeld,
 - (e) einem Leistungskoppler (11) zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls (14) an einen Verbraucher (12), und
 - (f) einen Hauptkollektor (13) zur Aufnahme der Restleistung des Elektronenstrahls (14), wobei die Vorrichtungskomponenten (a) bis (g) nacheinander in Richtung des Elektronenstrahls (14) angeordnet sind.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Verbraucher (12) eine Antenne (23) eines Koaxialkabelendes (24) ist, die in einem Resonator (15), der über einem den Elektronenstrahl (14) umgebenden Ringspalt (25) mit dem Elektronenstrahl (14) gekoppelt ist, hineinragt.
12. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Verbraucher (12) ein Antennenkoppler eines Hohlleiters ist, wobei der Antennenkoppler in einen Resonator (15) hineinragt, der den Elektronenstrahl (14) mit einem Ringspalt (25) umgibt.

13. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Verbraucher (12) ein Kopplungsfenster zu einem Hohlleiter ist, wobei das Kopplungsfenster sich zu einem Resonator (15) öffnet, der den Elektronenstrahl (14) mit einem Ringspalt (25) umgibt.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Elektronenstrahlkanone (6) eine Pierce-Typ-Elektronenstrahlkanone ist.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Hochfrequenzdeflektor (7) ein homogenes transversal gerichtetes Wechselfeld (20) aufweist.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Gleichspannungsdeflektor (8) ein inhomogenes zeitlich konstantes transversales elektrisches Feld (19) aufweist.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Leistungskoppler (11) in seinem Ausgangskreis (21) einen Resonator (15) aufweist.
18. Vorrichtung nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Ausgangskreis (21) eine einspaltige ringförmige Kavität (26) als Resonator (15) aufweist.
19. Verfahren zur Ionenstrahlbeschleunigung, das mit einer Vorrichtung durchgeführt wird, die einen Ionenbeschleuniger-tank (1) mit zentraler Behälterachse (2) zur Führung und Beschleunigung eines gepulsten Ionenstrahls (14) in der Behälterachse (2) und eine Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung (4) mit Elektronenstrahlachse

(5) zur Mikrostrukturierung und Verstärkung von Stromimpulsen für die Versorgung der Vorrichtung zur Ionenstrahlbeschleunigung mit Hochfrequenzleistung aufweist, wobei

die Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung (4) mit ihrer Elektronenstrahlachse (5) quer und versetzt zur Behälterachse (2) angeordnet ist und außerhalb des Ionenbeschleunigertanks (1) mit einer Elektronenkanone (6) einen Elektronenstrahl (14) erzeugt, und

mittels eines Hochfrequenzdeflektors (7) und eines Gleichspannungsdeflektors (8) über 50 % des Elektronenstrahlstroms bei Frequenzen von 100 MHz bis 400 MHz taktweise zur Mikrostrukturierung des Elektronenstrahls (14) in einen Kollektor (9) mit Gegenfeld ablenkt und

ein Nachbeschleuniger (10) unter einer Beschleunigerspannung von mehreren 100 Kilovolt vorzugsweise 200 bis 400 Kilovolt den Elektronenstrahl (14) in den Ionenbeschleunigertank (1) einführt und

über einen Leistungskoppler (11) den Ionenstrahl (3) beschleunigt.

20. Verfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Elektronenstrahl (14) einer Intensitätsmodulation unterworfen wird, die der Betriebsfrequenz (f) des Ionenstrahls (3) entspricht.

21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Kollektor (9) mit Gegenfeld bis zu 80 % der Elektronenstrahlenergie aufnimmt.

22. Verfahren zur Elektronenstrahlimpulsformung und -verstärkung, das folgende Verfahrensschritte aufweist:
Erzeugen eines Elektronenstrahls (14) mittels einer Elektronenstrahlkanone (5),
Beaufschlagen des Elektronenstrahls (14) mit einem hochfrequenten Wechselfeld (20) unter gleichzeitiger hochfrequenter Auslenkung des Elektronenstrahls (14),
Hochfrequentes Ausblenden von bis zu 80 % der Elektronenstrahlenergie zu einem Kollektor (9) mit Gegenfeld,
Nachbeschleunigen des hochfrequenzmodulierten Elektronenstrahls (14) zu Elektronenstrahlimpulsen,
Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Leistungskoppler (11).
23. Verfahren nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über ein Koaxialkabelende (24) erfolgt, das mit einer Antenne (23) in einen Ringresonatorraum (27) ragt, welcher über einen den Elektronenstrahl (14) umgebenden Ringspalt (25) mit dem hochfrequenten energiereichen Elektronenstrahl (14) kommuniziert.
24. Verfahren nach Anspruch 22 oder Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Hohlleiter erfolgt, der mit einer Koppelantenne in einen Ringresonatorraum (27) ragt, welcher über einen den Elektronenstrahl (14) umgebenden Ringspalt (25) mit dem hochfrequenten, energiereichen Elektronenstrahl (14) kommuniziert.
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Auskoppeln der Hochfrequenzenergie über einen Hohlleiter erfolgt, der über ein Koppelfenster an einen Ringresonator (27) angeschlossen ist, wobei der

Resonator (15) über einen den Elektronenstrahl (14) umgebenden Ringspalt (25) mit dem Elektronenstrahl (14) kommuniziert.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 25, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Elektronenstrahl (14) mit hoher Raumladungskonstanten gemäß der Child-Langmuir-Gleichung von einer Elektronenstrahlkanone (6) mit einem Elektronenstrahl von 20 A bis 60 A, vorzugsweise 30 A bis 50 A, bei einer Beschleunigungsspannung (U_c) von 20 kV bis 60 kV, vorzugsweise 30 kV bis 50 kV, erzeugt wird.
27. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Elektronenstrahl (14) mittels eines longitudinalen Magnetfeldes transversal im Brillouin-Gleichgewicht stabilisiert wird.
28. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 27, **dadurch gekennzeichnet, daß** der intensitätsmodulierte Elektronenstrahl (14) einen schmalbandigen HF-Resonator im Ausgangskreis bei einer Betriebsfrequenz (f) anregt.
29. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 28, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Elektronenstrahl (14) ein homogenes transversal gerichtetes elektrisches Wechselfeld (20) durchläuft.
30. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 25, **dadurch gekennzeichnet, daß** zwischen 50 % und 80 % der Elektronenstrahlenergie von der Elektronenstrahlachse (5) abgelenkt werden.

31. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 22 bis 30, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei näherungsweise konstanter Elektronenenergie von 30 keV bis 50 keV in einem vorgespannten Kollektor (9) mit Gegenfeld von -30 kV bis -40 kV der abgelenkte Anteil des Elektronenstrahls aufgefangen wird.
32. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 31, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Energie aufgefangener Elektronen in einem Kollektor (9) mit Gegenfeld gesammelt und als Ladestrom der Kathode der Elektronenstrahlkanone (6) zugeführt werden.
33. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 32, **dadurch gekennzeichnet, daß** die nicht abgelenkten Elektronenpakete im zeitlichen Abstand einer Betriebsfrequenz (f) entlang der Elektronenstrahlachse (14) bewegt und mit einer Hauptbeschleunigungsspannung zwischen 200 und 400 kV in einen Ausgangskreis (21) der Vorrichtung, der als Resonator (15) ausgebildet ist, eintreten.
34. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Resonator (15) im Ausgangskreis (21) der Vorrichtung anspringt, wobei hochfrequente Felder im Resonator (15) die Energie der Elektronen aufnehmen, diese abbremsen und eine Ausgangsleitung, vorzugsweise ein Koaxialkabelende (24) und/oder einen Hohlleiter speisen.
35. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 34, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine Restenergie der Elektronen in einem Hauptkollektor (13) abgegeben wird.

36. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 35, **dadurch gekennzeichnet, daß** für eine elektronische Ablenkung in dem Hochfrequenzdeflektor (7) für eine Betriebsfrequenz (f) das angesteuerte Hochfrequenzsignal aus einem Hauptbestandteil bei der Frequenz (f/2) und einer Überlagerung der Frequenz (5f/2) mit einem Amplitudenverhältnis 5:1 besteht.
37. Vorrichtung zur Hochfrequenzleistungsverstärkung, insbesondere zur Versorgung einer Vorrichtung mit einer Kavität zur Ionenstrahlbeschleunigung mit Hochfrequenzleistung, umfassend:
- einen Vakuumtank mit zentraler Tankachse zur Erzeugung und Beschleunigung eines gepulsten Elektronenstrahls (14) längs der Tankachse,
- dadurch gekennzeichnet, daß**
- eine Elektronenstrahlimpulsformungs- und -verstärkungseinrichtung (4) mit ihrer Elektronenstrahlachse (5) quer und versetzt zu einer Behälterachse (2) eines Ionenbeschleunigertanks (1) angeordnet ist und außerhalb des Ionenbeschleunigertanks (1)
- (a) eine Elektronenkanone (6),
 - (b) einen Hochfrequenzdeflektor (7),
 - (c) einen Gleichspannungsdeflektor (8),
 - (d) einen Kollektor (9) mit Gegenfeld und
 - (e) einen Nachbeschleuniger (10)
- aufweist und innerhalb des Ionenbeschleunigertanks
- (f) einen ersten sowie einen zweiten Spalt zur Ankopplung der Leistung des Elektronenstrahls (14) an den Ionenstrahl (3)
 - (g) einen Hauptkollektor (13) zur Aufnahme der Restleistung des Elektronenstrahls (14)
- aufweist, wobei die Vorrichtungskomponenten (a) bis (g) nacheinander in Richtung des Elektronenstrahls (14) angeordnet sind.

38. Vorrichtung nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, daß ein Ausgangskreis einen Leistungskoppler zur Einspeisung in einen Wellenleiter aufweist.
39. Vorrichtung nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausgangskreis als einspaltige Kavität ausgeführt ist.
40. Vorrichtung nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß die gesamte Elektronenstrahlenergie ohne Nachbeschleunigung in der Elektronenstrahlkanone erzeugbar ist.

Fig. 1.

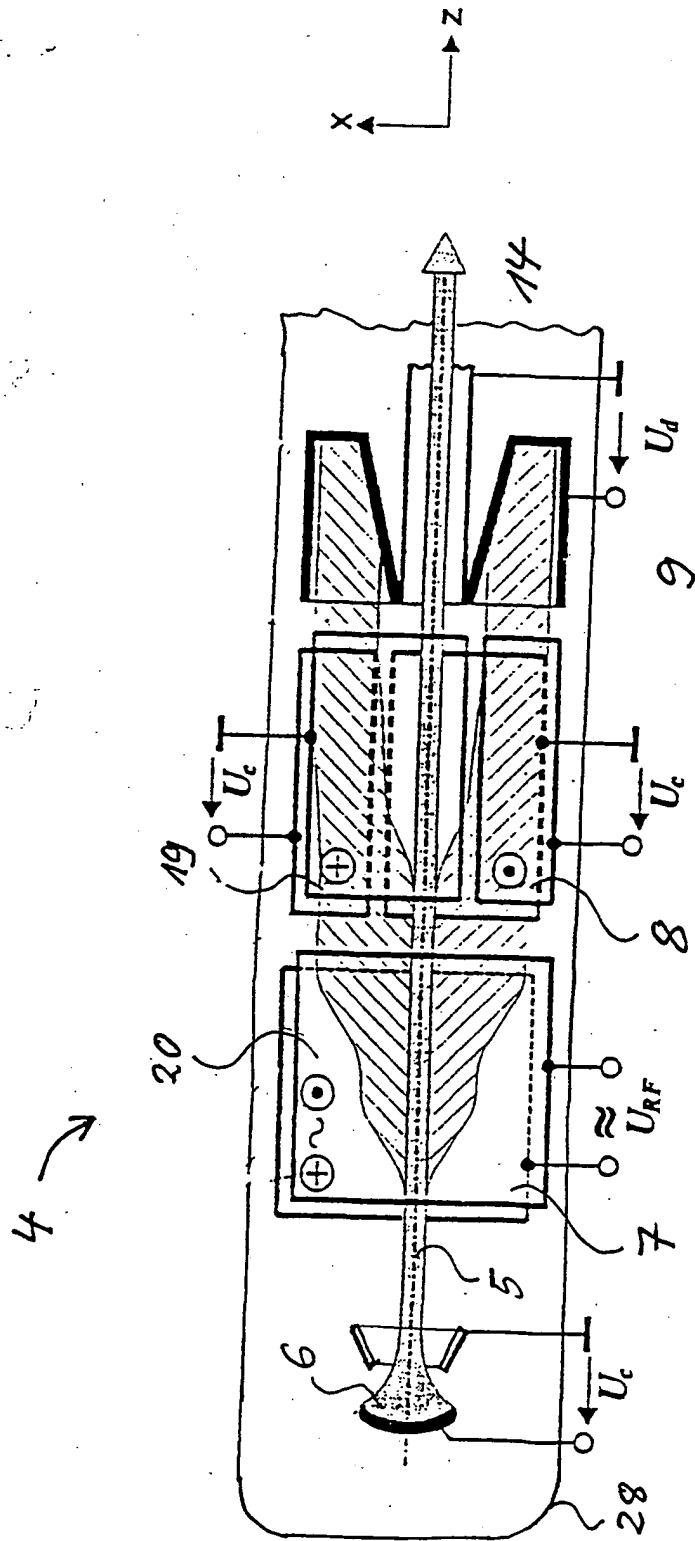


Fig. 2

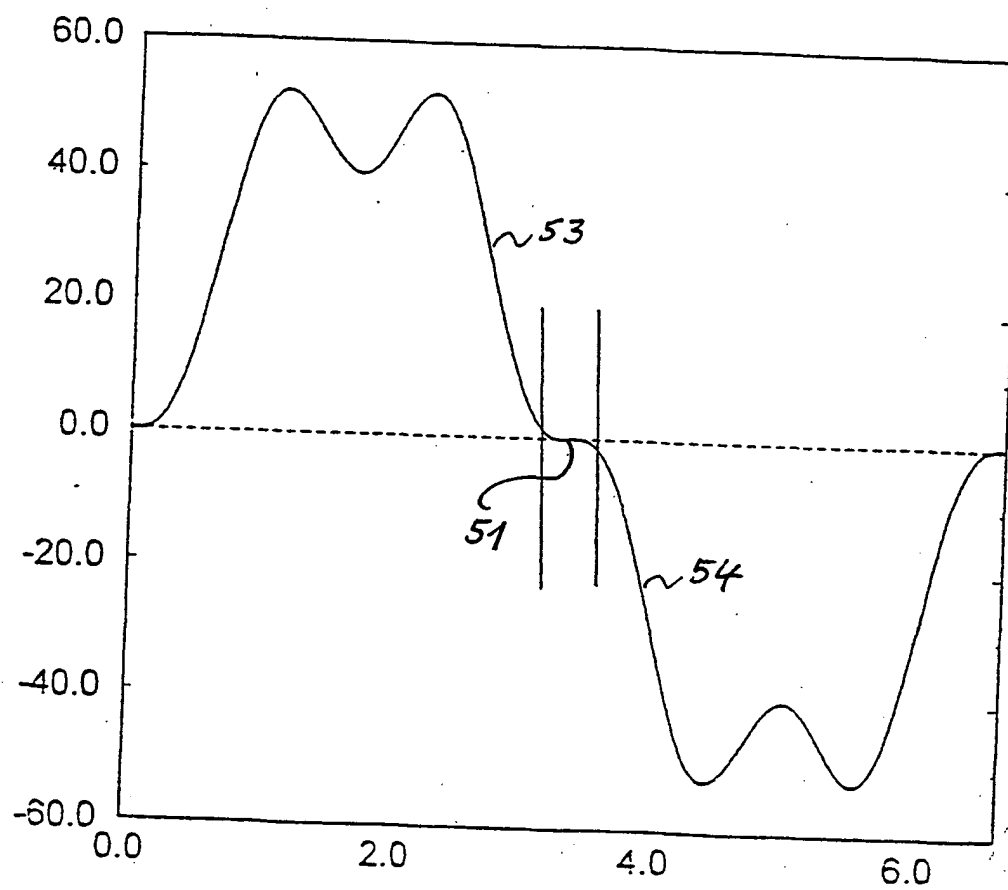


Fig. 3

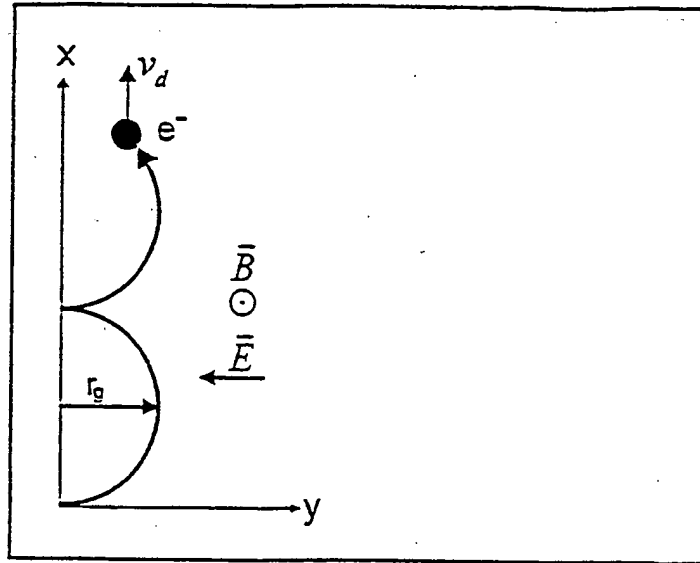


Fig. 4a

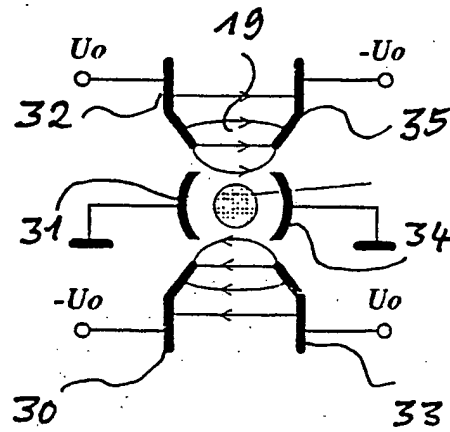


Fig. 4b

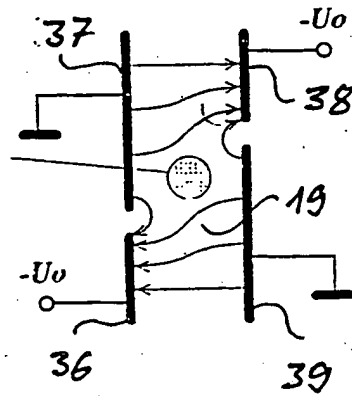


Fig. 5

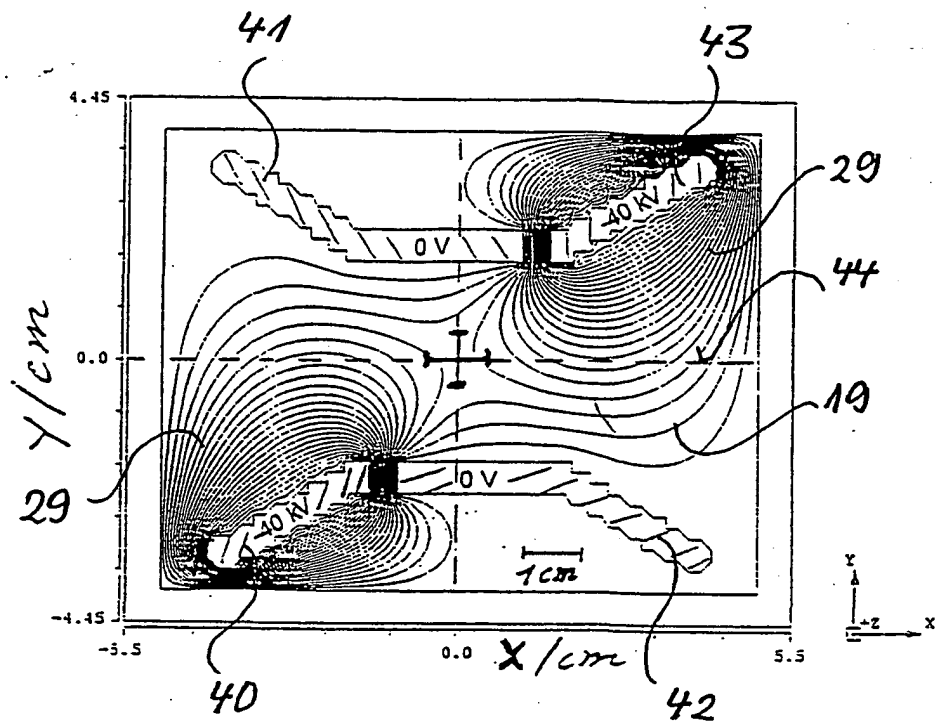
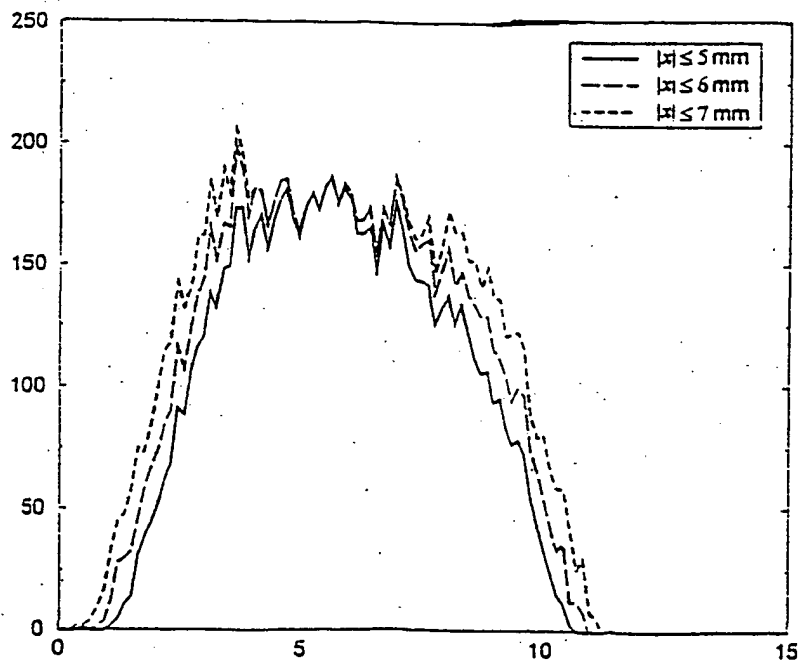


Fig. 6



5/7

Fig. 7

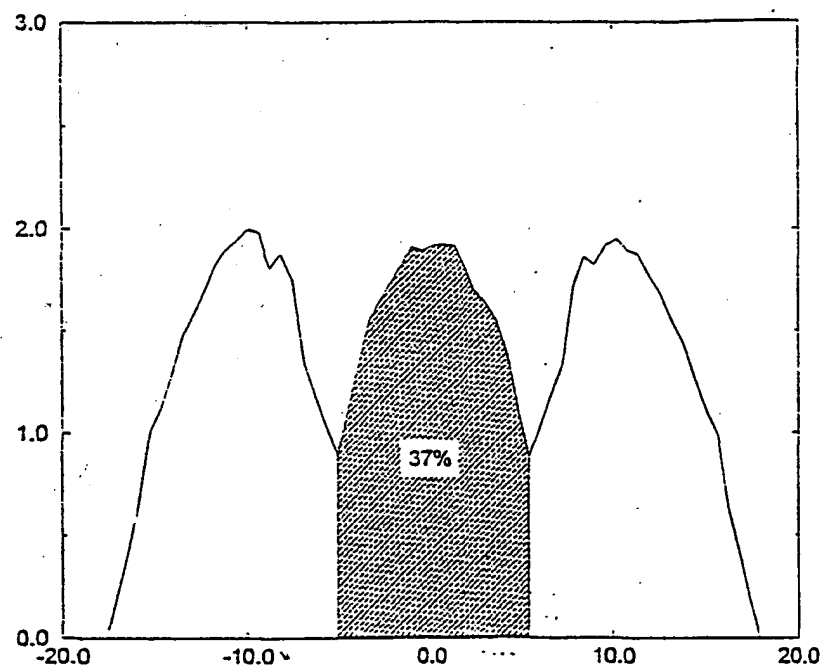


Fig. 8

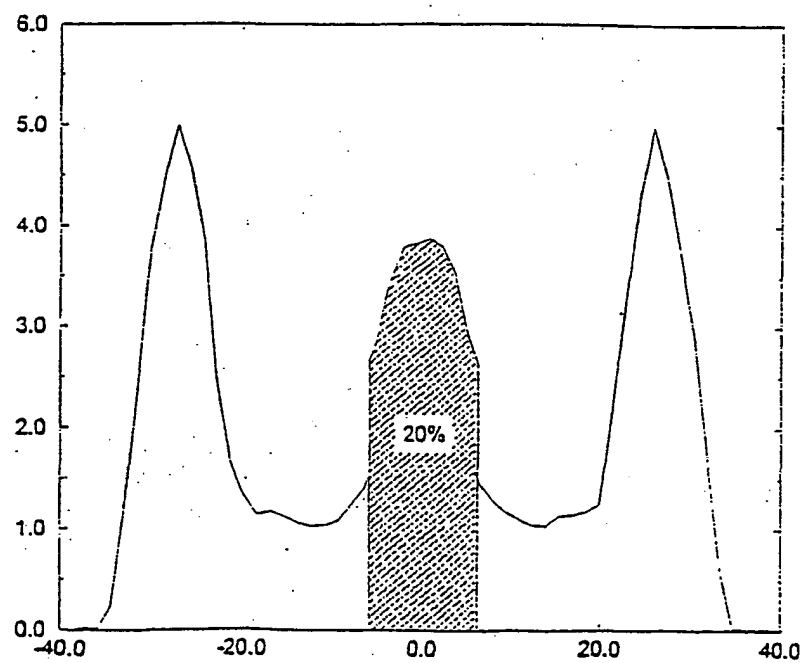


Fig. 9

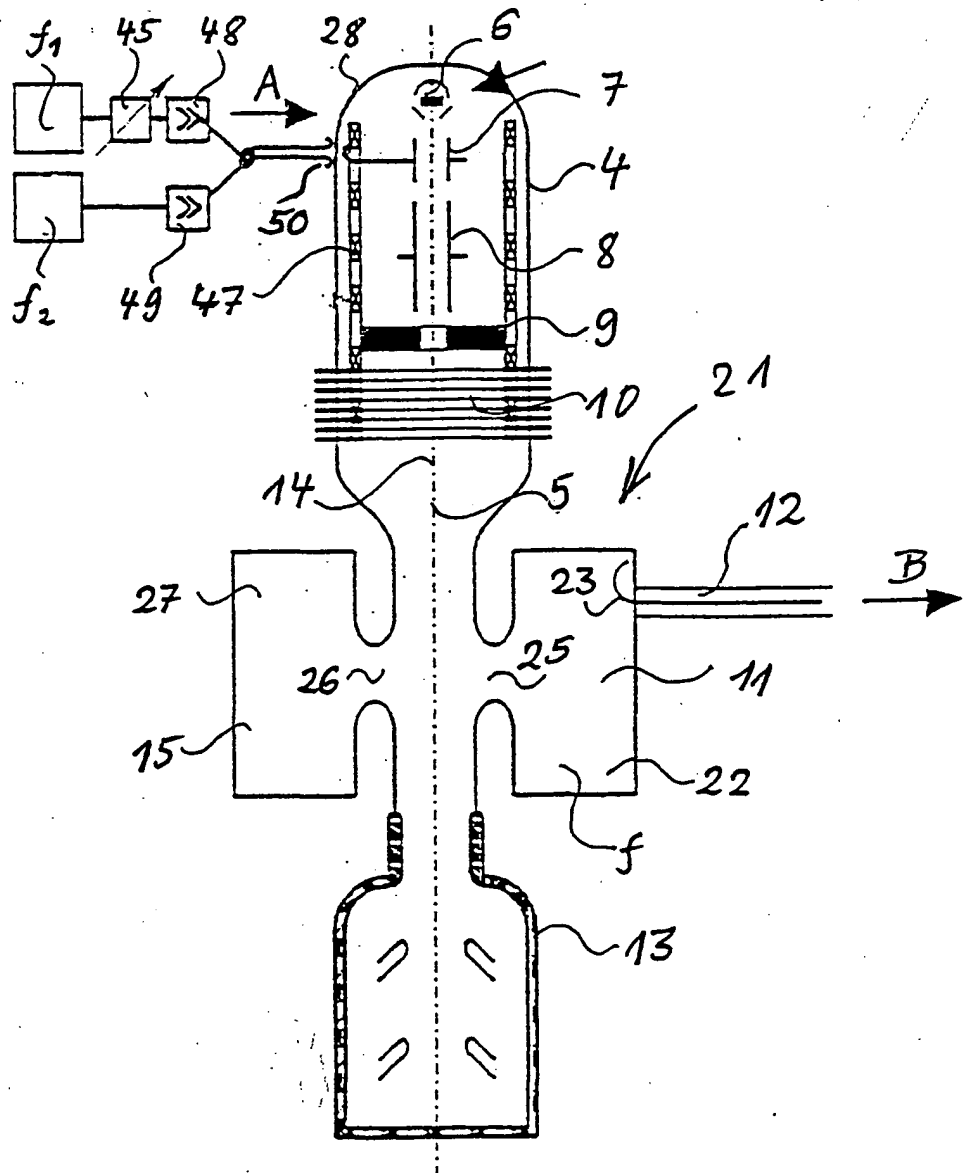
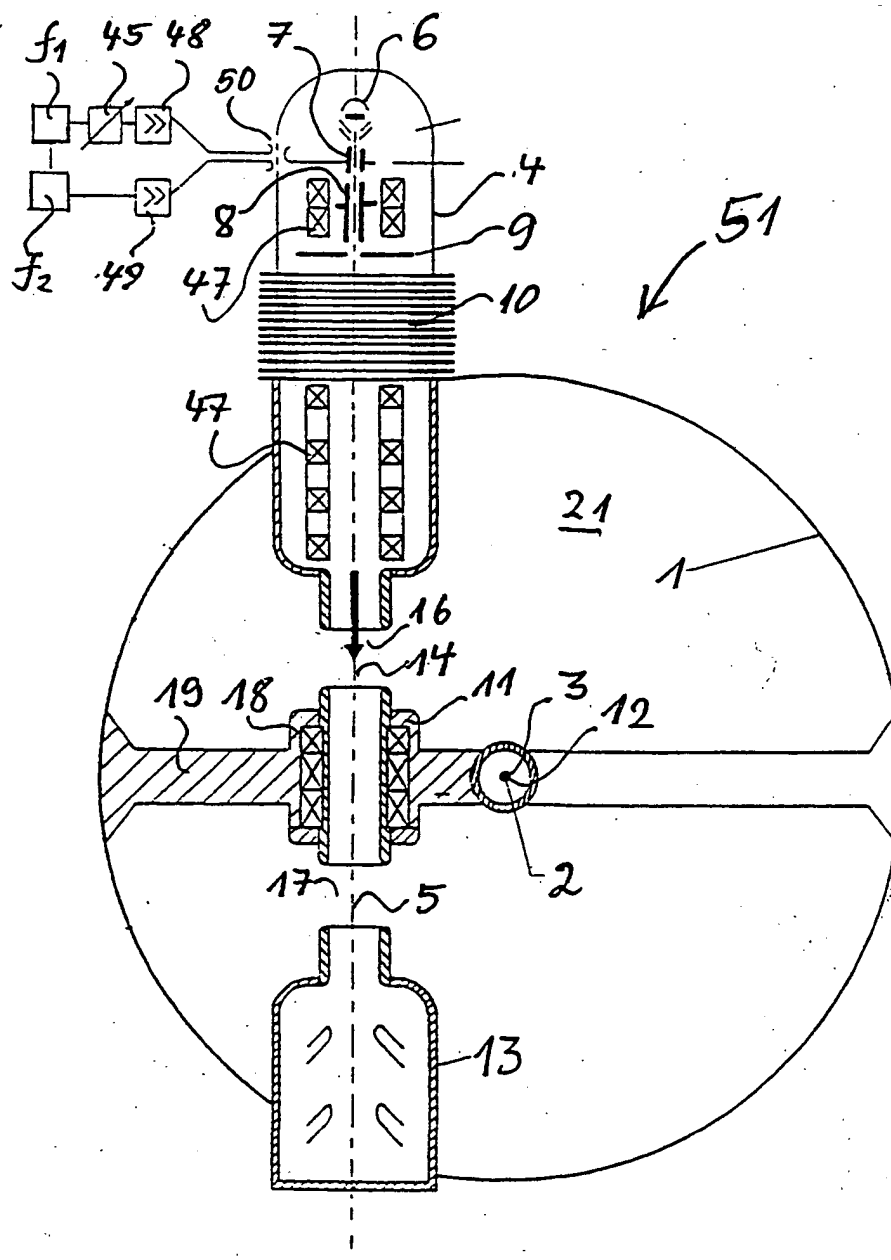


Fig. 10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
EP 01/08413

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01J25/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H05H H01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

PAJ, INSPEC, WPI Data, EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 587 481 A (THOMSON TUBES ELECTRONIQUES) 16 March 1994 (1994-03-16) column 3, line 2E -column 5, line 49 figures 1,2	1,3,8, 10,13, 17,24, 35,37,38
A	US 5 497 053 A (SWYDEN THOMAS A ET AL) 5 March 1996 (1996-03-05) column 3, line 3 - line 13 column 7, line 41 -column 8, line 25 column 10, line 44 - line 67 figures 6,9 --- -/-	1,6,10, 15,19, 29,37

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

A document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 December 2001

Date of mailing of the international search report

21/12/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel: (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Capostagno, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Patent Application No.
PCT/EP 01/08413

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 123 (E-178), 27 May 1983 (1983-05-27) & JP 58 042141 A (NIPPON DENKI KK), 11 March 1983 (1983-03-11) abstract	5
A	DATABASE WPI Section EI, Week 198135 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class V05, AN 1981-J1141D XP002185134 & SU 777 754 A (RYAZAN WIRELESS ENG INST), 4 January 1980 (1980-01-04) abstract	27
A	LORING C JR ET AL: "The Klystrode, a new high efficiency, high power electron tube for UHF industrial applications" JOURNAL OF MICROWAVE POWER AND ELECTROMAGNETIC ENERGY, 1993, USA, vol. 28, no. 3, pages 174-182, XP001039895 ISSN: 0832-7823 figure 1	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Annex on patent family members

International Application No.
EP 01/08413

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0587481	A	16-03-1994	FR 2695755 A1	18-03-1994
			DE 69311238 D1	10-07-1997
			DE 69311238 T2	18-09-1997
			EP 0587481 A1	16-03-1994
US 5497053	A	05-03-1996	US 5955849 A	21-09-1999
JP 58042141	A	11-03-1983	NONE	
SU 777754	A	07-11-1980	SU 777754 A1	07-11-1980

INTERNATIONALEP RECHERCHENBERICHT

In ☐ nationales Aktenzeichen

Publ. EP 01/08413

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H01J25/04

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H05H H01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

PAJ, INSPEC, WPI Data, EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 587 481 A (THOMSON TUBES ELECTRONIQUES) 16. März 1994 (1994-03-16) Spalte 3, Zeile 2E -Spalte 5, Zeile 49 Abbildungen 1,2	1, 3, 8, 10, 13, 17, 24, 35, 37, 38
A	US 5 497 053 A (SWYDEN THOMAS A ET AL) 5. März 1996 (1996-03-05) Spalte 3, Zeile 3 - Zeile 13 Spalte 7, Zeile 41 -Spalte 8, Zeile 25 Spalte 10, Zeile 44 - Zeile 67 Abbildungen 6,9	1, 6, 10, 15, 19, 29, 37
	-/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

10. Dezember 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

21/12/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Capostagno, E

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. nationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/08413

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 123 (E-178), 27. Mai 1983 (1983-05-27) & JP 58 042141 A (NIPPON DENKI KK), 11. März 1983 (1983-03-11) Zusammenfassung	5
A	DATABASE WPI Section EI, Week 198135 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class V05, AN 1981-J1141D XP002185134 & SU 777 754 A (RYAZAN WIRELESS ENG INST), 4. Januar 1980 (1980-01-04) Zusammenfassung	27
A	LORING C JR ET AL: "The Klystrode, a new high efficiency, high power electron tube for UHF industrial applications" JOURNAL OF MICROWAVE POWER AND ELECTROMAGNETIC ENERGY, 1993, USA, Bd. 28, Nr. 3, Seiten 174-182, XP001039895 ISSN: 0832-7823 Abbildung 1	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung

mit der selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/08413

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0587481	A	16-03-1994	FR	2695755 A1	18-03-1994
			DE	69311238 D1	10-07-1997
			DE	69311238 T2	18-09-1997
			EP	0587481 A1	16-03-1994
US 5497053	A	05-03-1996	US	5955849 A	21-09-1999
JP 58042141	A	11-03-1983	KEINE		
SU 777754	A	07-11-1980	SU	777754 A1	07-11-1980